D. Warthiadi

Veränderungen der Pflanze
unter dem Einfluss von Kalk und Magnesia

Veränderungen der Pflanze
unter dem Einfluss von Kalk und Magnesia

Von der K. Technischen Hochschule zu München zur Erlangung der Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften genehmigte Dissertation.

Vorgelegt von

Diplom-Landwirt Demeter Warthiadi
aus Bukarest.

Vorsitzender der Prüfungskommission:
Geh. Hofrat Prof. Dr. Franz von Soxhlet.

Referent:
Geh. Hofrat Prof. Dr. Karl Kraus.

Korreferent:
Prof. Dr. Karl Giesenhagen.

Tag der mündlichen Prüfung: 8. Februar 1911.

München 1911
Verlag von Franz Gais, Karlstr. 4.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545821_0180

Dem Andenken meines unvergesslichen Vaters

Divisions-General P. Warthiadi

General-Adjutant S. M. des Königs von Rumänien
Kommandant des II. Armeekorps zu Bukarest

dessen höchster Wunsch und Stolz die Vollendung dieser ersten Arbeit seines einzigen Sohnes gewesen und den der unbarmherzige Tod während deren Drucklegung hinweggerafft, in ewiger Dankbarkeit gewidmet.

Inhalts-Uebersicht.

Seite

Einleitung 1

Geschichtliches und allgemeiner Ueberblick 2
Funktion des Kalkes und der Magnesia — Theorien — Antagonismus zwischen Kalk und Magnesia — Theorie des Kalkfaktors — Versuche.

I. Teil.

Allgemeine Untersuchungen 19
Ausbildung und Produktion bei Wasser- und Sandkultur.

Versuche und deren Anstellung in der Literatur — Zweck von Nachprüfungen — Probleme: 1. Der Einfluss verschiedener Kalkfaktoren auf die Pflanze, 2. Das Verhalten ihrer Hauptteile im einzelnen.

Eigene Versuche und deren Anstellung:

A) Sandkulturen mit Sommer-Roggen 1909 26
Anstellung im allgemeinen.

I. Versuchsreihe mit Ca- u. Mg-Nitrat. Anstellung, Gang und Resultat des Versuches.
II. Versuchsreihe mit Ca- u, Mg-Karbonat. Anstellung, Gang, allgemeine Resultate und Kritik — Einfluss störender Nebenfaktoren wie einer übergrossen Anzahl Pflanzen im Topf auf die Resultate — Versuche darüber, Anstellung, Resultate.

B) Sandkulturen mit Sommer-Weizen 1910 49
Anstellung im allgemeinen.

I. Versuchsreihe mit Ca- u. Mg-Nitrat. Anstellung, Gang, Wachstumskurven und Erntetabellen.
II. Versuchsreihe mit Ca- u. Mg-Karbonat. Anstellung, Gang, Wachstumskurven und Ernteresultate.

Seite

C) Wasserkulturen mit Gerste 77
Anstellung im allgemeinen.
I. Versuchsreihe mit Ca- u. Mg-Nitrat. Anstellung, Gang, Wachstum und Resultate,
II. Versuchsreihe mit Ca- u. Mg-Sulfat. Anstellung, Gang, Wachstum und Resultate.

II. Teil.

Spezielle Untersuchungen 93
Einleitung und Zweck dieser Untersuchungen.
I. Wirkung von Kalk und Magnesia auf die Zelle.
a) Versuche mit höheren Algen — Literatur — Eigene Versuche, Anstellung, Gang und Resultate 94
b) Versuche mit Tradescantia — Literatur — Eigene Versuche, Anstellung, Resultate 101
II. Wirkung von CaO und MgO auf einzelne Pflanzenteile
A. Wirkung auf Spross und Blatt 108
Eigene Beobachtungen über Mangel und Ueberschuss beider Basen bei Tradescantia und Getreidepflanzen.
B. Wirkung auf die Wurzel 116
Literatur und allgemeine Besprechung — Probleme.
a) Wirkung von Kalk und Magnesia auf das Wurzelsystem . . 118
1. Versuche mit Tradescantia.
2. Versuche mit Getreide in Wasserkulturen.
3. Versuche mit Getreide in Sandkulturen.
b) Wirkung von Kalk und Magnesia auf die Wurzelbehaarung . 126
Allgemeine Besprechung — Literatur — Probleme.
1. Versuche mit Tradescantia.
2. Versuche mit Roggen in Sandkulturen.
3. Versuche mit Gerste in Wasserkulturen mit Nitrat.
4. Versuche mit Gerste in Wasserkulturen mit Sulfat.
Allgemeine Zusammenfassung der Resultate 152

Einleitung.

Eine der interessantesten physiologischen Fragen ist ohne Zweifel die der Funktion von Kalk und Magnesia in der lebenden Zelle. Beide Stoffe sind für die tierische wie für die pflanzliche Zelle absolut notwendig (mit Ausnahmen für Kalk bei ganz niederen Organismen), beide können einander nicht ersetzen und obgleich zwischen beiden besonders enge physiologische Beziehungen bestehen, sind die Funktionen beider Basen völlig voneinander verschieden. Die einseitige Zufuhr dieser Basen wirkt in grösserer Menge entwicklungshemmend, bei MgO sogar giftig, und trotzdem können dieselben Mengen, gleichzeitig geboten, durch einen merkwürdigen Antagonismus diese schädliche Wirkung scheinbar wieder aufheben. In praktischer sowie in theoretischer Hinsicht, im Laboratorium sowie in der Landwirtschaft, hat diese Frage schon seit H. Davy's Zeiten zu vielen Widersprüchen Anlass und schon seit 100 Jahren vielen Forschern Anregung zu Arbeiten auf diesem Gebiete gegeben.

Da die Resultate dieser Forschungen nicht immer übereinstimmten, und ausserdem noch viele dunkle Punkte aufzuklären sind, schien es angezeigt, einige strittige Punkte durch eigene Versuche nachzuprüfen, und durch anatomische und morphologische Beobachtungen einige Beiträge zur Erklärung und besseren Kenntnis dieser Vorgänge zu liefern.

In vorliegender Arbeit können wir wegen des zu grossen Umfangs des Gebietes nicht auf tierische Vorgänge und Versuche eingehen (einige in neuester Zeit veröffentlichte

interessante Versuche sollen später kurz erwähnt werden); wir werden uns nur mit pflanzlichen Vorgängen beschäftigen. Da die meisten Arbeiten auf diesem Gebiete nur die Wirkung von Kalk und Magnesia auf die Ernte berücksichtigen, so wurden die Beobachtungen ausserdem auf verschiedene Perioden der Vegetation ausgedehnt.

Da sich dabei die Pflanzen verschieden verhalten, konnte vermutet werden, dass hier auch wenigstens zum Teil die Erklärung für verschiedene Widersprüche bei früheren Versuchen zu finden wäre.

Geschichtliches und allgemeiner Ueberblick über die Kalk-Magnesia-Frage.

Seit sehr langer Zeit ist bekannt, dass Kalk sowie Magnesia der Pflanze nötig sind, und es scheint, dass von der landwirtschaftlichen Praxis die Kenntnis ausging, dass ein Ueberschuss von einer dieser Basen nachteilig sei. Es scheint der Engländer Tennant im Jahre 1800 der erste gewesen zu sein, der die Behauptung aufstellte, dass Magnesia im Ueberschuss schädlich sei. H. Davy[1]) berichtete im Jahre 1815 über Tennants Versuche und zeigte, dass ein magnesiareicher Kalkstein der Vegetation in grösseren Mengen nachteilig sei, dagegen in mässigen Mengen und auf gewissen Böden guten Erfolg gehabt habe. Ebenso berichtete später Petzold[2]) über zwei benachbarte Böden aus Poltawa, von denen der eine fruchtbar, der andere ganz unfruchtbar war, während beide genau dieselbe Zusammensetzung hatten und sich nur durch den Magnesiagehalt unterschieden. Diese und andere Stimmen und Tatsachen aus der Landwirtschaft

[1]) Elements of Agr. Chem. 1815, pag. 20.

[2]) Jahrb. f. Agr. Chem. 1863, pag. 18.

hatten aber erst dann Aussicht auf Erklärung, als das grosse Gebiet der Aschenanalysen durch Boussingault (1837), Liebig (1840) u. A. eröffnet wurde und dadurch der Kalk- und Magnesiagehalt der Pflanzen in ihren verschiedenen Teilen näher bekannt wurde.[3])

Ein Blick auf einige dieser Resultate zeigt einerseits, wie unentbehrlich diese Basen sind, anderseits, wie verschieden sie in den einzelnen Pflanzenteilen verbreitet sind, woraus geschlossen werden kann, dass diese Stoffe ganz verschiedene Funktionen auszuüben haben werden. Folgende Zahlen zeigen, wie verschieden die Verhältnisse von Kalk und Magnesia in den Körnern und im Stroh der Getreide sein können.

	Auf 100 Teile Asche:	
Körner von:	CaO	MgO
Gerste	2,48	8,29
Hafer	3,70	7,70
Weizen	3,30	11,70
Mais	0,57	13,60
Roggen	3,45	15,82
Stroh von:		
Gerste	7,25	2,57
Hafer	7,29	4,58
Weizen	6,93	1,69
Mais	5,35	1,84
Roggen	9,06	2,41

Eine gewisse Gesetzmässigkeit in der Verteilung der Basen tritt deutlich hervor, nämlich bei allen Körnerarten überwiegt deutlich der Magnesiagehalt, dagegen beim Stroh der Kalkgehalt. Nimmt man die Durchschnittszahlen und rechnet die Gewichtsteile in Moleküle um, so kommen auf 100 Mol. MgO in den Getreidekörnern 17 Mol. und im Stroh 224 Mol. CaO. Ebenso verschieden sind auch die Verhältnisse von Kalk und Magnesia im Vergleiche der Gehalte von Blättern und Wurzeln.

[3]) Siehe Liebig, Die Chemie in ihrer Anwendung, 1876.

So fanden Way und Ogston[3]) in den Blättern der Rübe das Verhältnis von Kalk und Magnesia wie 14:1, dagegen in der Wurzel wie 2:1, ferner bei Kartoffeln im Kraut wie 6:1, in den Knollen wie 0,6:1. Ebenso verschieden ist dieses Verhältnis auch zwischen Blättern, Stengeln und Holz, welchem für die Samenbildung Magnesia direkt entzogen werden kann, wie R. Weber[4]) gezeigt hat.

Ein klarer Einblick in die Verteilung des Kalkes und der Magnesia ergibt sich aus der Zusammenstellung der Aschenanalysen von E. Wolff.[5])

Aus den vielen Hunderten von Aschenanalysen wählen wir ein Beispiel aus, welches uns ein Bild der verschiedenen Verteilung von Kalk und Magnesia in ein und derselben Pflanze gibt. Eine Baumwollpflanze enthielt:

In 100 T. Reinasche:

	CaO	MgO
Stengel	32,24	5,64
Blätter	34,32	0,94
Samen	4,63	19,67

Es zeigt sich also, dass in den Körnern am meisten Magnesia und am wenigsten Kalk enthalten ist, in vielen Wurzeln und Knollen ebenfalls mehr Magnesia als Kalk, dagegen in den Blättern am meisten Kalk und sehr wenig Magnesia.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, als die grundlegenden Arbeiten über die pflanzliche Ernährung gemacht wurden, wurde auch die Bedeutung von Kalk und Magnesia zum ersten Male wissenschaftlich geprüft. In erster Linie waren die absolute Notwendigkeit dieser Basen und wegen ihrer Aehnlichkeit auch ihre gegenseitige Ersetzbarkeit zu prüfen.

---

[4]) Forstl. naturwiss. Zeitschrift I, 13.

[5]) Aschenanalysen, 1871 u. 1880, Berlin.

Salm-Horstmar[6]) bewies zuerst die Notwendigkeit und Unersetzbarkeit des Ca und des Mg.

W. Knop[7]) untersuchte 1863 die Wirkung der Weglassung des Kalkes und seines Ersatzes durch isomorphe Basen MgO, BaO, K_2O; alle Pflanzen gingen dabei ein.

E. Wolff[8]) bewies weiter die Notwendigkeit des Kalkes und seine Unersetzbarkeit durch MgO oder K_2O.

Boehm[9]) beobachtete 1875, dass Bohnen ohne Kalk erkrankten, bei Kalkzugabe sich erholten und bei Magnesia abstarben. Er versuchte auch die erste Erklärung der Funktion des Kalkes zu geben, indem er sagte, dass Kalk beim Transport von Stärke (bezw. Zucker) beteiligt sei und dass der Kalk bei der Membranbildung eine Rolle zu spielen vermöge.

E. v. Raumer und Kellermann[10]) stellten 1880 weitere Versuche (Wasser- und Sandkulturen) an und untersuchten dabei die Wirkung der Weglassung des CaO und seine Ersetzbarkeit durch MgO, wobei alle Pflanzen unter sehr interessanten Absterbungs- und Vergiftungserscheinungen der Knospen und Wurzeln eingingen. Fehlten aber Kalk und Magnesia, so blieben die Pflanzen zwar zurück, aber „eine so vollständige Missbildung trat nicht ein".

B. J. v. d. Ploeg[11]) arbeitete zu gleicher Zeit ebenfalls auf diesem Gebiet und zwar mit ähnlichen Resultaten.

1883 setzte E. v. Raumer[12]) seine Versuche fort, er stellte diesmal auch magnesiafreie, sowie kalk- und magnesiafreie Kulturen an. Bei den magnesiafreien zeigte sich als charakteristische Erscheinung das Aufhören der Chlorophyllbildung, deshalb blasse Färbung und schwache Assimilation.

[6]) Salm-Horstmar, Versuche über die Nahrung der Pflanze 1856.
[7]) Landw. Vers.-Stat. V 1863, S. 104.
[8]) Landw. Vers.-Stat. VI 1864 u. X 1868.
[9]) Berichte der Akad. d. Wissenschaft, Wien 1875.
[10]) Funktion des Kalkes in Landw. Vers.-Stat. 25, 1880, S. 25.
[11]) l. c. S. 229.
[12]) l. c. Bd. 29, 1883, S. 353.

1888 und 1890 zeigte Schimper,[13]) dass in kalkfreier Lösung ein Absterben der Vegetationsspitzen erfolgt. Er führte dieses auf Vergiftung mit Oxalsäure zurück, die sonst durch Kalk gebunden werde, Resultate, welche mit den älteren von Stohmann[14]) aus dem Jahr 1862 sich decken.

Weil aber einerseits die Erklärung Schimpers die Tatsache nicht genügend erklärte, warum dann auch **neutrale** Oxalate giftig wirken, stellte O. Loew[15]) 1892 zahlreiche Versuche an, um der noch nicht genügend erklärten Funktion des Kalkes nachzuforschen.

Unter anderem fand Loew, dass neutrale Oxalate für niedere Pilze nicht giftig sind, ebenso nicht für Hefearten, die sogar 4 % Kaliumoxalat vertragen (während Spirogyra und höhere Algen schon bei 0,5 bis 0,1 % getötet werden). Da bei solcher Konzentration kein gelöster Kalk vorhanden sein konnte und die Pilz-Zellen sich nichtsdestoweniger vermehrten, kam Loew zum Schlusse, dass diese niederen Pilze keines Kalkes bedürfen.

Spätere Versuche bestätigten ganz diese Ansicht. So wurde von Loew und ungefähr zu gleicher Zeit von Molisch[16]) beobachtet, dass es auch unter den niedersten Algen solche gibt, für die Kalk nicht absolut notwendig ist, wie Palmellaarten, Ulothrix, Stichococcus usw.

> „In der Tat haben jene niederen Organismen, für welche Kalk bis jetzt als entbehrlich erklärt wurde, noch keine geschlechtliche Fortpflanzung, und es wäre zu erweisen, ob dann, wenn gewisse Pilze zur geschlechtlichen Fortpflanzung schreiten, Kalk wirklich entbehrt werden kann.“[17])

---

[13]) Botanische Zeitung, 1888.

[14]) Annalen der Chemie u. Pharm. 1862, Vol. CXXI.

[15]) Flora 1892, Heft 3, S. 368.

[16]) Sitz.-Ber. d. Akad. d. Wissensch., Wien 1895, Vol. CIV.

[17]) O. Loew, Physiol. Funkt. der Ca.-Salze, Botan. Zentralblatt LXXIV, 1898.

Es mag hier noch auf eine eigentümliche Beobachtung Loews[18]) hingewiesen werden, dass eine niedere Flagellate Japans, Gonium sociale, welche in Palmellaform sowohl als in begeisselter Form existieren kann, auch ohne Kalk in Palmellaform, aber zur Geisselform sich erst dann entwickelt, wenn ein Kalksalz zu einer solchen Palmellakultur gegeben wird. Molisch hat auch bei Ulothrix gefunden, dass sie sich vegetativ vermehren kann, bei Ausschuss von Kalk, es ist aber nicht bekannt, ob unter dieser Bedingung die Alge auch Gameten bilden kann und die Befruchtung stattfindet. Für alle diese ist eine grössere Magnesiamenge auch nicht giftig wie für höher organisierte Zellen. Adolf Mayer[19]) beobachtete schon 1886, dass für Hefepilze Magnesia wichtiger als Kalk zu sein scheint.

Für alle höher differenzierten, Stärke bildenden Zellen ist aber der Kalk unentbehrlich und Magnesia im Ueberschuss, sowie Kaliumoxalat giftig, so dass Loew darin eine Erklärung der Funktion des Kalkes und der Magnesia suchte. Vor allem waren es seine vielen Versuche mit Spirogyra[20]) und die dabei beobachtete Kontraktion und der Tod ihrer Zellkerne unter der Einwirkung von neutralem Kaliumoxalat (wir kommen darauf im speziellen Teil dieser Arbeit zurück), die ihn darauf führten, dem Kalk als Calciumproteidverbindung eine wichtige Rolle im Aufbau des Zellkernes zuzusprechen. Darauf stellte Loew die Theorie auf:

„Bei der Neubildung von Kernsubstanz ist Magnesiumphosphat der Lieferant von Phosphorsäure, während Calciumsalze insofern weit inniger eingreifen, als sie sich als Calciumproteidverbindungen am Aufbau des Kernes beteiligen."

Ein weiterer Punkt in Schimpers Arbeiten, den Loew zum Ausgang für seine Untersuchungen genommen hatte,

[18]) Flora 1905, Bd. 94, Heft 2.

[19]) A. Mayer, Agrik. Chemie, I. Teil, 1886, S. 274.

[20]) Flora 1892, auch Bull. Coll. Agr. Tokyo VII. 3 usw.

war der Zusammenhang zwischen Kalknahrung und Stärketransport. Hierüber sagt er:[21])

„Gehört nun eine Calciumverbindung eines Proteinstoffes wie Nuklein, zur Konstitution des Zellkernes und der Chloroplasten, so wird die Abhängigkeit des Stärketransports von der Gegenwart von Kalksalzen auch einigermassen begreiflich. Zwei verschiedene Ursachen, einzeln oder zusammen wirkend, können hier von Einfluss sein. Entweder es fehlt an Diastase zur Verzuckerung der Stärke oder es fehlt an der Bildung einer normalen Anzahl von Leukoplasten oder Chlorophyllkörpern behufs Rückverwandlung des gebildeten Zuckers in Stärkemehl an den Stellen, wohin das letztere transportiert werden soll.

Da B. Hofer an Amoeben nachgewiesen hat,[22]) dass der Kern für die Produktion von Enzym wesentlich ist, wird für den pflanzlichen Zellkern dieses ebenfalls wahrscheinlich. Es ist nun der Fall denkbar, dass bei ungenügender Kalkzufuhr der Kern wegen beginnenden Kränkelns keine Diastase mehr produziert.

Wenn es an Kalk mangelt, wird aber auch eine unvollkommene Ausbildung und Sistierung der Vermehrung der Leukoplasten und Clorophyllkörper stattfinden. Es kann also der Fall eintreten, dass gewisse Organe, denen noch Zucker zugeführt wird, keine Stärke mehr daraus zu bilden vermögen."

Diesen Fall haben Raumer und Kellermann bei Dunkelpflanzen von Phaseolus multiflorus beobachtet.[23])

> „Die Stengel waren reich an Zucker (und Fett), jedoch war die obere Partie derselben leer von Stärke, die erst im unteren Teil sich fand."

Um jetzt von der physiologischen Funktion des Kalkes zu der der Magnesia überzugehen, so erinnert Loew zuerst an die grossen Unterschiede in der hydrolytischen

[21]) Flora 1892, Heft 3, S. 379.

[22]) Sitzungsbericht der Ges. f. Morph. u. Physiol. München, 1889, S. 59. Vergl. auch M. Verworn, Pflüg. Archiv 51, S. 80.

[23]) Landw. Versuchsstationen, Bd. 25, S. 32.

Dissoziierbarkeit dieser Salze. Magnesia als schwächere Base trennt sich viel leichter von einer Säure als Kalk. Es lag ihm also die Annahme nahe, dass die Assimilation des Stickstoffes, Schwefels und Phosphors aus den Salzen des Magnesiums viel leichter erfolgen müsse als aus denen des Kalkes. Da die Magnesiasalze von allen Bodensalzen die grösste Dissoziationsfähigkeit haben (nächst den Fe-Salzen) und ihre Säure am leichtesten abtreten, so meinte Loew,[24]) dass das Protoplasma sich dann erheblich rascher entwickeln und seine Funktionen am leichtesten ausführen werde, wenn es die nötige Säure mit grosser Leichtigkeit aus den Salzen abspalten könne. Hier wird natürlich hauptsächlich die Phosphorsäure in Betracht kommen. Diese Säure wird wesentlich bei der Nukleinbildung, also zum Aufbau des Zellkerns gebraucht, sie wird nicht, wie Schwefel- und Salpetersäure (behufs Eiweissbildung) reduziert und darf bei der empfindlichen Beschaffenheit des Zellkerns als saures Salz, aus welchem ein Teil der Phosphorsäure ja leicht zu assimilieren wäre, diesem nicht dargeboten werden.

„Wenn nun phosphorsaure Alkalien mit Kalk- und Magnesiasalzen in den Zellen zusammenkommen, so werden sich Calcium- und Magnesiumphosphate bilden. Sind es die sekundären Phosphate, welche entstehen, so wird das Magnesiumphosphat gegenüber dem Calciumphosphat in zweifacher Hinsicht den Zellen Vorteile bieten. Erstens ist das sekundäre Magnesiumphosphat weit löslicher, als das entsprechende Calciumsalz, und deshalb weit „wanderungsfähiger", und zweitens gibt es einen Teil seiner Phosphorsäure weit leichter ab. Das sekundäre Magnesiumphosphat spaltet sich z. B. schon beim Kochen mit viel Wasser in freie Phosphorsäure und tertiäres Salz:

$$3\,PO_4MgH = PO_4H_3 + (PO_4)_2Mg_3$$

Bei keinem andern sekundären Phosphat in der Pflanze ist eine Abtrennung der Phosphorsäure möglich, und wir

[24]) Landw. Versuchsstationen, Bd. 41, 1892.

können daher schliessen, dass die Funktion der Magnesiumsalze darin besteht, nach Umwandlung in sekundäres Phosphat die Bildung von Nuklein und Plastin für Zellkern und Chlorophyllkörper zu ermöglichen. Diese beiden Organoide spielen aber bei der Pflanzenentwicklung eine überaus wichtige Rolle: ohne Zellkernentwicklung keine Zellteilung, keine Zellvermehrung; ohne Chlorophyllkörper keine Kohlenstoffassimilation aus der Atmosphäre!

Aber auch die Kaseine und die Lezithine bedürfen der Phosphorsäure, auch hier wird das Magnesiumphosphat in erster Linie der Lieferant der Phosphorsäure sein. Ob die Magnesia selbst noch eine weitere Rolle spielt, ob vielleicht auch magnesiahaltige Proteinverbindungen im Zellkern enthalten sind, wäre erst durch weitere Untersuchungen zu entscheiden.

Mit unserer Auffassung sind nun viele seit lange gesammelten Beobachtungen im besten Einklang. Magnesia finden wir da in relativ grösster Menge, wo die meiste Phosphorsäure gebraucht wird — im Samen, Magnesia folgt ebenso wie die Phosphorsäure den Eiweissstoffen. Wenn das sekundäre Magnesiumphosphat im Samen einen Teil seiner Phosphorsäure abgetreten hat, bleibt es als tertiäres unlösliches Phosphat liegen, um dann später bei der Embryoentwicklung durch die Säurebildung in sekundäres zurückverwandelt wieder die Vermittlerrolle zu übernehmen und die Alkaliphosphate des Samens nutzbar zu machen. Es spielt da die Rolle eines wichtigen Reservestoffes."

Letztere Tatsache wurde ja schon von Adolf Mayer hervorgehoben, der sie durch den Satz ausdrückte: „Die Magnesia folgt den Eiweissstoffen."

Um aber die Giftwirkung der Magnesia, wenn sie in grösseren Mengen auftritt, zu erklären, stellte Loew folgende Theorie auf:[25])

[25]) Flora 1892, pag. 385, ebenso in O. Loew, Nat. System der Giftwirkungen. München 1893.

„Da Zellkern und Chlorophyllkörper Calciumverbindungen des Plastins und des Nukleins enthalten, so wird bei der Einwirkung von Magnesiasalzen starker Säuren ein Austausch von Kalk gegen Magnesia stattfinden müssen. Hierdurch wird aber auch die physikalische Beschaffenheit der Gerüstsubstanz verändert, die Quellungskapazität wird eine andere und wahrscheinlich die Festigkeit verringert. Dieses bringt aber eine Strukturstörung mit sich, infolge deren auch Umlagerung des aktiven Proteinstoffes zu passivem erfolgt, welche den Tod der ganzen Zelle mit sich zieht.[26]) Deshalb kann nur die gleichzeitige Gegenwart von Kalksalzen diese Giftwirkung bis zu einem gewissen Grad aufheben.

Sind nämlich genügende Mengen von Calciumsalzen in der Lösung vorhanden, so kann nach dem Gesetz der Massenwirkung die umgekehrte Reaktion eintreten, d. h. das in die organisierte Kernsubstanz an Stelle von Calcium getretene Magnesium wird wieder durch Calcium ersetzt."

Dieser eigenartige Antagonismus wurde durch alle Versuche, die früher wie später gemacht wurden, bestätigt und immer klarer ins Licht gesetzt.

J. Böhm beobachtete auch, dass die giftige Wirkung von $MgCO_3$ durch Zusatz von $CaCO_3$ aufgehoben werden kann.

Die zahlreichen Versuche, die Loew ungefähr zur selben Zeit wie Ulbrich und Atterberg selbst darüber anstellte, sind die deutlichsten. Unter anderem beobachtete er z. B., dass Zellen in 0,1 % Magnesiumnitrat bald abstarben, während sie beliebig lang am Leben blieben, wenn dieselbe Lösung daneben noch 0,3 % Calciumnitrat

---

[26]) Man vergleiche dazu die Theorie, die viel später (1900) Jaques Loeb im American Journal of Physiology, 3, 327 aufstellte: „The salts or electrolytic molecules do not enter into the combination (with proteids) as a whole but through their ions. The great importance of these ion-proteid-compounds lies in the fact that by the substitution of one ion for another the physical properties of the proteid compound change".

enthielt. Ganz in neuester Zeit wurden noch interessante Versuche auf dem Gebiete dieses Antagonismus auch am tierischen Körper gemacht; so gelang es z. B. Meltzer und Auer[27]) im Rockefeller Institute for Medical Research in New-York bei einem Kaninchen, welches durch Einspritzung eines Magnesiasalzes von vollständiger respiratorischer sowie motorischer Lähmung getroffen war, durch Nacheinspritzen eines Kalksalzes diese Wirkung wieder aufzuheben, sogar wenn die Mg-Dosis fast tödlich war. Ebenso machten Mendel und Benedekt[28]) sehr lehrreiche Versuche über Einwirkung von Magnesiumsalzen auf die Zellen der Niere, ferner wurden auch Versuche an Hunden mit inneren Gaben von Kalk und Magnesia gemacht, und andere, deren Anführung uns zu weit führen würden.

Aus jenem ganz charakteristischen Antagonismus zog Loew in den folgenden Jahren den Schluss, dass, wenn Magnesiaüberschuss durch Austausch von Kalk gegen Magnesia schädlich wirkt, und anderseits Kalküberschuss wieder die Bildung von Magnesiumphosphat beeinträchtigt[29]) und so auch hemmend wirkt, es doch ein Verhältnis geben muss, bei welchem beide Basen ihre Funktionen ohne gegenseitige Verdrängung ausüben können.

Um also eine maximale Entwicklung bei einer Pflanze zu erreichen, müssten ihr diese beiden Basen in einem bestimmten Verhältnis zueinander, bei gleicher Aufnehmbarkeit, dargeboten werden, und wenn dieses in einem Boden von der Natur aus nicht der Fall ist, so würde durch künstliche Beigabe von Kalk oder Magnesiasalzen bis zur Herstellung dieses Optimalverhältnisses eine Stei-

---

[27]) Americ. Journ. of Physiol. May 1908, Vol. XX.

[28]) Americ. Journ. of Physiol. Vol. XXV, pag. 23.

[29]) Es sei hier auch erwähnt, dass O. Kellner u. Böttcher sowie Soederbaum (in D. L. P. 1900—1901 Nr. 52, 23, 24, 28, ferner im Zentralbl. f. Agr. Chem. 1903, 737) viele Versuche machten, die deutlich zeigten, wie hemmend Kalküberschuss auch auf die P_2O_5-Resorption wirken kann.

gerung der Ernte und der Entwicklung der Pflanze herbeigeführt werden.

Die zahlreichen Versuche, die Loew im Laufe der folgenden Jahre anstellte, bestätigten diese Theorie und zeigten, dass für viele Pflanzengattungen ein besonderes optimales Verhältnis CaO : MgO existiere, welches Loew den Kalkfaktor nannte, wobei im allgemeinen die CaO-Menge umso grösser ist, je blattreicher die betreffende Pflanzensorte ist (was durch einen Blick in die Wolffsche Aschenanalysen leicht begreiflich ist).[30])

Um diesen Kalkfaktor bei den verschiedenen Pflanzenarten zu bestimmen, wurde in den Jahren 1900—1908 in verschiedenen Ländern eine grosse Anzahl Versuche angestellt, hauptsächlich in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, in Japan, Porto Rico, Italien, Russland, Norwegen, Belgien, und eine geringe Anzahl in Deutschland, die alle, mit einigen Ausnahmen, die später besprochen werden, übereinstimmende Resultate gaben.

Die ersten Versuche wurden in 1900 von May[31]) in Washington ausgeführt.

Diese, auf Loews Anregung unternommenen Versuche, die mit Wasser- und Sandkulturen unter anderm mit Weizen angestellt wurden, zeigten, dass bei einem Verhältnis CaO : MgO wie 5 : 4 die Entwicklung am besten war.

---

[30]) Später erweiterte Loew diese Theorie auch auf die Phosphorsäure; er sagt (in Zeit. Landw. Vers. in Oesterr. 1905, S. 588): „Da die Assimilation der Phosphorsäure (ihre Umwandlung in den Zellen in Lezithin und Nucleoproteide), in hohem Grade von dem Verhältnisse zwischen Kalk und Magnesia abhängt, so wird zu einem Höchstertrag wohl auch ein bestimmtes Verhältnis CaO : MgO : P_2O_5 erforderlich sein". In der Tat haben Bernardini u Siniscalchi festgestellt, dass die Menge der resorbierten P_2O_5 mit den Verhältnissen von Ca : Mg variiert.

Rana Bahadur erstreckte dieses auch auf Stickstoff und fand als günstigsten Faktor P_2O_5 : N wie 1 : 2 (Bull. Coll. Agr. Tokyo VI, p. 421).

[31]) Bull. Bureau of Plant-Industry. Dep. of Agr. Washington 1901.

Später (1902) wurden von Furuta[32]) in Tokyo Versuche angestellt, wo diese Frage näher geprüft wurde, und wo für blattreiche Gewächse das Verhältnis 2 oder 3 : 1 gefunden wurde (Kohl 2 : 1, Buchweizen 3 : 1) und für Getreide (Hafer) das Verhältnis 1 : 1. Zur selben Zeit stellte K. Aso[33]) Versuche mit Wasserkulturen an, die analoge Resultate ergaben, mit Weizen, Gerste, Soyabohnen und Zwiebeln. Ebenfalls in Tokyo (1903) stellte auch Katayama[34]) Versuche mit Zwiebeln an auf verschiedenen Böden mit ähnlichem Erfolg.

1903 führte Aso[35]) Versuche mit Boden- und Wasserkulturen aus und fand für den Maulbeerbaum das Optimalverhältnis bei 3 : 1.

Zur selben Zeit fand Daikuhara[36]) in Sandkulturen für junge Bohnen das Verhältnis von 2 : 1.

1904 stellte Aso[37]) abermals Versuche an, um diesmal zu prüfen, ob ein Boden, der ursprünglich dieses Optimalverhältnis nicht enthielt, durch Ca- oder Mg-Beigabe eine Ernteerhöhung bringen konnte. Die Versuche, die mit Reis ausgeführt wurden, bestätigten hier auch die Erwartung.

Aehnliches fand auch Daikuhara[38]) von 1903—1905, der die Entwicklung von Gerste, Tabak und Reis auf CaO-haltigen sowie auf stark MgO-haltigen Böden untersuchte.

In derselben Weise stellten noch in Japan Susuki, Machida, Nakamura, Namikawa, Maki und Tanaka, Kumakiri, Imaseki, Takeuchi, Kanamota, Kanamori, Sirker und Yokoyama viele Versuche an, deren Zweck die Feststellung des Kalkfaktors für alle Kulturpflanzen war.

---

[32]) Bull. Coll. of Agr. Tokyo IV Nr. 5, pag. 371.
[33]) Ibid. IV Nr. 5, pag. 361.
[34]) Ibid. VI Nr. 2, pag. 103.
[35]) Ibid. Vol. V, pag. 495.
[36]) Ibid. Vol. V, pag. 501.
[37]) Ibid. Vol. VI, pag. 97.
[38]) Bull. Imperial Agr. Experim. Stat. Nishigahara I. 1 (1905).

Auf deren Versuche und Ergebnisse werde ich weiter unten noch zurückkommen.

Endlich stellten 1907 und 1908 in Italien Bernardini, Corso und Siniscalchi[39]) zahlreiche Versuche an mit Weizen, Roggen, Gerste, Mais, Lupinen und Bohnen, die sowohl in Wasser- wie in Sandkulturen obige Resultate bestätigten.

Ganz in neuester Zeit (1909/10) erschienen auch die wertvollen Arbeiten Hansteens[40]) aus dem Botan. Inst. Norwegens, die auch einige Ergebnisse unserer Versuche, die damals schon im Gang waren, bestätigten und im speziellen Teil näher besprochen werden sollen.

Diese Theorien sowie die Versuchsergebnisse wurden aber von verschiedenen Seiten angezweifelt. Mehrere Forscher, die die Ansichten Loews nicht anerkennen wollten, stellten ebenfalls Versuche an, deren Ergebnisse auch sehr verschieden waren, nicht nur von denen Loews, sondern auch untereinander:

So fand z. B. Gössel,[41]) dass das günstigste Verhältnis für Bohnen und für Gerste 0,4 : 1 = CaO : MgO sei (also ein Magnesiaüberschuss soll günstig sein).

P. Bruch[42]) meint, dass bei starkem Magnesiaüberschuss und Kalkabwesenheit Buchweizen sogar blühen könnte.

Später fand D. Meyer,[43]) dass eine alleinige Magnesiadüngung (Freilandskultur) eine fast ebenso grosse Ernteerhöhung wie Kalkdüngung bewirkte, so dass sich also Unschädlichkeit eines grossen Magnesiaüberschusses und Ersetzbarkeit von Kalk durch Magnesia ergebe.

Dagegen aber fand Dojarenko,[44]) dass sich vorzüg-

---

[39]) Staz. Sperim. agrar. ital. 1909, 42, 369, sowie deutsches Referat im Jahresber. f. Agrikulturchemie, 3. Folge, X 1907, p. 99 und XI 1908, p. 243.

[40]) Jahrb. f. wiss. Botan. XLVII, 3. 289

[41]) Verhandlg. d. deutsch. Naturf. Cassel 75. 102.

[42]) Landw. Jahrb. Bd XXX/III, S. 127.

[43]) Landw. Jahrb. 30. 619.

[44]) Russ. Journ. f. Landw. 4. 1903, 168.

liche Ernten bei einem Verhältnis CaO : MgO = 11 : 1 erzielen liessen, und ähnliches fand auch Konowalow,[45]) der auch einen bedeutenden Ueberschuss an Kalk für das beste erklärte.

Der Grund dieser sehr grossen Gegensätze in den Ergebnissen verschiedener Forscher kann vielleicht in einigen Verschiedenheiten und Eigentümlichkeiten in den Versuchsanstellungen gesucht werden, worauf Loew in seinen Erwiderungen hinweist.[46])

Jedenfalls war weitere Prüfung äusserst wünschenswert und das bot den direkten Anlass zu den folgenden Untersuchungen.

Loew erklärte[47]) viele der abweichenden und entgegengesetzten Resultate Meyers wie Dojarenkos durch besondere physikalische Veränderungen des Bodens, die durch diese Basen herbeigeführt sein konnten. Es ist ja wohl bekannt, dass sowohl Kalk wie Magnesia chemische und physikalische Veränderungen im Boden verursachen können, die für die Entstehung günstiger Vegetationsbedingungen oft weit wichtiger als das ernährende Moment sind. Aus diesem Grund müssen auch Vegetationsversuche, welche die direkten pflanzenphysiologischen Wirkungen und Funktionen des Calciums und Magnesiums klarlegen sollen, zuerst auf Quarzsand oder als Wasserkulturen ausgeführt sein, wo eben derartig schwierig aufzuklärende, ineinandergreifende Prozesse möglichst ausgeschaltet werden.

Bei den eigenen Versuchen des Verfassers wurden folgende Fragen geprüft:

1. Ob bei Ausschaltung jedes störenden Nebenfaktors ein bestimmtes Kalk- und Magnesiaverhältnis auch wirklich einen Einfluss auf die allgemeine Entwicklung der Pflanzen hat.

---

[45]) l. c. Bd. VIII 1907 u. Bd. X 1909.

[46]) Landwirtsch. Jahrbücher 1903, p. 509; 1905, p. 131. Fühlings landw. Ztg. 1909, p. 355 usw.

[47]) Landw. Jahrbücher 1910, p. 335 u. 339, ebenso 1005.

2. Wie bei sonst ganz normalen Pflanzen bei günstigem sowie bei ungünstigem Kalkfaktor die Pflanze sich verändert und zwar nicht nur hinsichtlich der Produktionsmenge, sondern auch, was bei den früheren Versuchanstellungen nur wenig berücksichtigt wurde, wie sich die Pflanze dabei in verschiedenen Wachstumsstadien verhält und wie schliesslich die Ausbildung der einzelnen Teile wird, aus denen sich die Ernte zusammensetzt. Ganz besondere Aufmerksamkeit wurde der Untersuchung des Verhaltens der Wurzel zugewendet.

3. Welche Veränderungen physiologischer, morphologischer und anatomischer Art sich sonst an der Pflanze einerseits bei grösserem Kalk- und Magnesiaüberschuss, andererseits bei Mangel einer dieser Stoffe zeigen.

Entsprechend den verschiedenen Richtungen, in denen sich die Versuchsanstellungen und Untersuchungen bewegten, empfiehlt es sich, die ganze Arbeit in zwei Hauptabschnitte zu teilen:

I. Allgemeine Untersuchungen.
Ausbildung und Produktion bei Sand- und Wasserkulturen.

II. Spezielle Untersuchungen.

I. Teil.

Allgemeine Untersuchungen.

Ausbildung und Produktion bei Sand- und Wasserkulturen.

Es wird sich empfehlen, ehe wir zu den einzelnen Veränderungen schreiten, die die Pflanze unter dem Einfluss von CaO oder MgO in ihren verschiedenen Teilen erleidet, erst das allgemeine Verhalten der hauptsächlichen Kulturpflanzen gegen wechselnde CaO : MgO-Verhältnisse ins Auge zu fassen.

Die meisten Forscher, welche bis in neuerer Zeit diese Frage behandelten, haben sich damit begnügt, nur das Gewicht der Ernte am Schluss des Versuches zu bestimmen. Die nachstehenden Versuche sollen hiezu Ergänzungen bringen; eine Nachprüfung war auch deshalb erwünscht, weil, wie schon im allgemeinen Ueberblick erwähnt, einige der vorliegenden Bestimmungen nicht ganz übereinstimmend gewesen sind. Da aber viele Besonderheiten durch die Versuchsanstellung bedingt sind, ist auch ein kurzer Einblick in diese von Wichtigkeit, der uns neben der oft darin liegenden Erklärung der Unterschiede

auch die Lücken zeigt, die durch nähere Untersuchungen ausgefüllt werden müssen.

Wir sahen, dass die ersten und meisten Arbeiten auf diesem Gebiet in Washington und in Tokyo gemacht wurden. Die Versuche May's, die im wesentlichen die ersten Orientierungsversuche waren, bestanden, wie erwähnt, in Wasser- und Sandkulturen, sie bezogen sich hauptsächlich auf Bohnen, Weizen, Tabak und Hafer. Kalk und Magnesia wurden als Sulfate, Karbonate und Nitrate gegeben und die Versuche zeigen eine deutliche Depression, Erkranken und Absterben bei grösseren Kalk- oder Magnesiaüberschüssen, während bei ungefähr gleichen Mengen oder leichtem Kalküberschuss das Gedeihen am besten war. Die Versuche wurden aber leider nicht bis zur Reife der Pflanzen ausgedehnt.

Eingehender wurde danach dieses Problem auf der Universität Tokyo geprüft.

Zuerst mussten, um die Theorie des Kalkfaktors zu prüfen und zahlenmässig festzustellen, auch Wasserkulturen angestellt sein, da hiebei, wie bekannt, die Pflanze am besten auf die gebotenen Nährstoffe reagiert und die störenden Einflüsse des Bodens ausgeschlossen sind.

Aso fand bei seinen Wasserkulturen für Getreide den Faktor 1:1 und für blattreiche Gewächse 2—3:1.

Er fand ferner, dass die Pflanzen bei richtigem Kalkfaktor viel schönere Farbe hatten und dass die Entwicklung der Wurzeln und Wurzelhaare viel besser war, ohne aber genaue Messungen darüber zu geben. Er arbeitete ebenfalls bei diesen ersten Versuchen nur mit ziemlich jungen Pflanzen und konnte sonach die Körnerernte dabei nicht berücksichtigen; nur bei seinen Bodenkulturen hat er die Pflanzen bis zur vollsten Reife beobachtet, wobei aber wieder die Wurzelbeschaffenheit nicht beobachtet wurde.

J. Konowalow in Kiew, der ebenfalls Wasserkulturen ansetzte, fand und beschrieb bei seinen ersten Ver-

suchen,[1]) dass das Optimalverhältnis für Getreide bei einem viel höheren Ueberschuss an Kalk liege. Er erntete aber auch seine Pflanzen viel zu früh und glich Stickstoffdifferenzen, die durch Steigerung des Calciumnitrats erzeugt waren, durch Ammoniumnitrat aus, so dass bei dieser ungleichmässigen Stickstoffzufuhr keine richtigen Schlüsse aus seinen Versuchen gezogen werden können.[2]) Bei seinen späteren[3]) Versuchen wendete er Gips an, dabei kam aber durch die starke Gabe (1,33 g) soviel Schwefelsäure gegenüber der Salpetersäure in die Lösung, dass normale Pflanzen nie zu erwarten waren. In wieder anderen Versuchen wurde Kalk als Chlorcalcium in so grossen Mengen gegenüber den Nitraten gegeben, dass hier auch die entstehende Salzsäure schädlich wirken musste, und ebenfalls normale Pflanzen nicht entstehen konnten. Es ist dies aus deren Gewicht (Maximum 1 g pro Pflanze) auch ersichtlich und können daraus auch seine abweichenden Resultate erklärt werden.

Mit ganz einwandfrei hergestellten Nährlösungen stellten in Italien Bernardini,[4]) Corso und Siniscalchi ihre Wasserkulturen an. Bei den Kulturen mit Nitraten wurden die Stickstoffmengen überall gleich gehalten, und bei denen mit Sulfaten wurde dafür gesorgt, dass kein Schwefelsäureüberschuss entsteht. Die Resultate waren auch sehr deutlich und stimmten völlig mit denen der Mitarbeiter Loews. Sie zeigten als besten Kalkfaktor für Getreide 1 : 1 und für Mais, Bohnen 2 : 1. Da diese Forschungen aber hauptsächlich auf chemische Untersuchungen (Assimilation der Phosphorsäure in der Trockensubstanz usw.) und wenig auf genaue morphologische Be-

[1]) Russ. Journ. f. Exper. Landw. 1907, Bd. 3 S. 277.

[2]) Fühlings Landw. Ztg. 1909, Heft 10, p. 355 u. 364.

[3]) Russ. Journ. f. exp. Landw. 1909, Bd. 3, p. 317.

[4]) Intorno all influenza di vari rapporti fra calce e magnesia sullo sviluppo delle piante. Portici 1908, auch Staz. Speriment. agrar. ital. 1908, 41, 191 sowie 1909, 42, 369. — Siehe ebenfalls im Jahresber f. Agrikulturchemie. 3. Folge, XII 1909.

obachtungen des Pflanzenkörpers, der Wurzeln usw. sich erstreckten, war eine Ergänzung in dieser Richtung wohl am Platze.

Neben solchen Wasserkulturen wurde von den meisten Forschern eine ganz besondere Aufmerksamkeit Versuchen mit Erde geschenkt. Diese Versuche gaben auch einerseits die deutlichsten und interessantesten Resultate, andererseits aber auch die meisten Verschiedenheiten und Widersprüche zwischen den verschiedenen Versuchsanstellern.

Der Grund davon ist, wie schon in dem allgemeinen Ueberblick gesagt wurde, in der äusserst komplexen und wechselnden Beschaffenheit eines natürlichen Bodens zu finden.

Deshalb hat sich Verfasser von vornherein entschlossen, von Versuchen mit natürlichem Bodenmaterial Abstand zu nehmen und nur Sand- und Wasserkulturen anzustellen.

Was die Sandkulturen betrifft (nach den oben besprochenen Versuchen May's in Washington), wurden die meisten an der Universität Tokyo und an der Kaiserlichen Versuchsstation Nishigahara ausgeführt. Daikuhara[5]) stellte eine Anzahl sehr interessanter Versuche mit Bohnen in Quarzsand an und fand dabei die höchste und grösste Blattentwicklung bei 2:1, verfolgte aber leider dieses nur im Jugendzustand; später stellte er auch Versuche an mit Reis und fand eine optimale Entwicklung bei 1:1.

Katayama[6]) stellte eine Anzahl Parallelserien mit Zwiebeln an und fand dasselbe Resultat wie Daikuhara für Bohnen.

---

[5]) The Bulletin of the Coll. of Agric. Tokyo, Vol. V, p. 501.
[6]) The Bulletin of the Coll. of Agric. Tokyo, Vol. VI, p. 103.

Namikawa,[7]) der mit Carbonaten (Marmor und Magnesit) arbeitete, erhielt für Spinat eine Maximalernte im Gewicht sowie in Höhe bei 1 : 1.

Sehr interessant waren auch die Versuche, die Kanamota[8]) ausführte, der bei grossen Extremen (100 : 1) bis 40% Depression und äusserst geringes Wachstum fand.

Kumakiri[9]) beobachtete, dass einseitig übermässige Magnesiagaben die Reife verlangsamten und dass die Stengel schwächer wurden. Besondere Festigkeitsmessungen wären von grossem Interesse gewesen.

Konowalow beobachtete bei seinen Sandkulturen, ebenso wie in den oben schon erwähnten Wasserkulturen, einige äusserst interessante Erscheinungen beim Mangel einer von beiden Basen: Auftreten von braunschwarzen Flecken auf den jüngeren Blättern und Vertrocknen dieser, sowie schlechte Entwicklung der Wurzeln und der Wurzelhaare bei Kalkmangel, Blasswerden der Blätter bei Magnesiamangel u. a.

In neuester Zeit erschien eine weitere Mitteilung von ihm,[10]) wobei bei Sandkulturen mit Hafer und Hirse sich zeigte, dass bei konstantem Magnesiagehalt der Ertrag bei steigendem Kalkgehalt anstieg und bei einer gewissen Grenze wieder fiel. Bei anderen Versuchen mit Gerste, wobei Calcium als Nitrat und Magnesium als Sulfat Verwendung fanden und die Unterschiede im Stickstoffgehalt bei wechselnden Mengen Calciumnitrat durch Kaliumnitrat ausgeglichen wurden (bei resp. Verminderung des Chlorkaliums), schliesst der Verfasser mit den Worten: „Aus diesen Zahlen geht hervor, dass der Ertrag an lufttrockner Substanz bei CaO : MgO = 1 : 1 am höchsten war.“[11]) — Danach findet er aber bei anderen Versuchen

---

[7]) l. c. vol. VII, 57

[8]) l. c. vol. VII, 599.

[9]) l. c. vol. VII, 441.

[10]) Landw. Versuchsstationen, Bd. 74, p. 343.

[11]) Ibid p. 355.

eine noch bessere Ernte bei 6 : 1 = CaO : MgO, wendet aber hier unlösliche oder schwerlösliche Kalksalze (Carbonat, Sulfat) mit demselben leichtlöslichen Magnesiumsulfat an. Es ist deshalb nicht möglich, daraus richtige Schlüsse zu ziehen, da ein Vergleich nur dann möglich, wenn beide Basen in gleichem oder nahezu gleichem Grade der Resorbierbarkeit den Wurzeln dargeboten wird.

Wenn wir alle diese bis jetzt ausgeführten Versuchsanstellungen mit Wasser-, Boden- und Sandkulturen ins Auge fassen, sehen wir, dass es sich bei einem Nachprüfen und Weiterführen dieser Ergebnisse vor allem darum handelt, durch möglichst genaue einwandfreie Versuche festzustellen:

1. Den Einfluss verschiedener Kalk- und Magnesiaverhältnisse auf die Pflanze,

2. Das Verhalten ihrer Hauptteile während des Wachstums und ihre Ausbildung mit Eintritt der Reifung bei verschiedenen Kalk- und Magnesiaverhältnissen.

Bei der Anstellung von möglichst genauen und einwandfreien Sandkulturen musste besondere Sorgfalt auf folgende Gesichtspunkte verwendet werden:

Um die Resorbierbarkeit der Phosphorsäure, die stets als Monokaliumphosphat gegeben wurde, nicht durch wechselnde Mengen von Kalk- oder Magnesiumcarbonat zu beeinflussen, und um fernerhin auch wechselnden Mengen von Carbonaten keine Gelegenheit zu geben, physikalische Einflüsse auszuüben, wurde in allen Töpfen die Summe beider Carbonate gleichgehalten und nur das Verhältnis beider Basen variiert. In anderen Versuchen mit Ca- und Mg-Nitraten wurde ebenfalls die Summe beider Nitrate und so der Stickstoff bei allen Töpfen gleichgehalten. Ferner wurden nur solche Kalk- und Magnesiasalze zusammengebracht, welche ähnliche Resorbierbarkeit besitzen, wie z. B. natürlicher kohlensaurer Kalk mit natürlichem Magnesit oder lösliches Calciumnitrat mit

ebenfalls löslichem Magnesiumnitrat, da Versuche, wo dieses nicht beachtet wurde, wie jene von Hager[12]) ganz widersprechende Resultate ergaben.

Es wurde vor allem darauf geachtet, durch möglichst grosse Gefässe und reichliche Düngung den natürlichen Verhältnissen möglichst nahe zu bleiben und möglichst normale, kräftige und gesunde Pflanzen zu erreichen, da ja nur aus solchem Material sich richtige Schlüsse ziehen lassen, was mehrere Forscher nicht berücksichtigten.[13])

Von diesen Prinzipien geleitet, können wir nun zur Beschreibung unserer Versuche übergehen.

---

[12]) „Kulturversuche mit höheren Pflanzen etc.", Inaug.-Dissertation Dresden 1909. Siehe ebenfalls Loews Kritik in Landwirtsch. Jahrb., 39, pag. 335.

[13]) So hatte z. B. Hager l. c. im günstigsten Falle bei Buchweizen nur 1,67 g Erntegewicht, ebenso Konowalow bei Hafer 1,20 g pro Pflanze, während Kraus zeigte, daß bei Topfkulturen eine Buchweizenpflanze leicht 6,59 g erreichen kann, Katayama bei seinen Versuchen für Hafer ca. 20 g hatte, und der Verfasser bei Weizen bis 15,3 g pro Pflanze Trockengewicht erhielt.

A. Sandkulturen mit Sommerroggen 1909.

Im Jahre 1909 wurden die ersten zwei Versuchsreihen angestellt und dabei die Kalk- und Magnesiasalze bei der einen als lösliche Nitrate und in kleinen absoluten Mengen, bei der anderen als schwer lösliche Carbonate und in grösseren absoluten Mengen gegeben; überall musste innerhalb eines Versuches in allen Töpfen die Summe beider Salze in Molekülen gleich sein.

Der Quarzsand, der zu diesen zwei Versuchen diente, wurde vom landwirtschaftlichen Versuchsfeld der Kgl. Technischen Hochschule, wo diese Versuche auch ausgeführt wurden, zur Verfügung gestellt. Er wurde in dem Laboratorium der Landwirtschaftlichen Zentralversuchsstation chemisch untersucht und zeigte einen äusserst geringen Gehalt an Kalk und an Magnesia, der bei unseren grossen Düngungsgaben nicht in Betracht kommen kann.

Die Töpfe, mit welchen die Versuche ausgeführt wurden, waren grosse, gut glasierte Tontöpfe, die 11 kg Sand fassten, eine bepflanzte Oberfläche von 380 qcm hatten, und die zur exakten Regulierung der Wasserzufuhr zuerst genau auf die gleiche Tara mittels Glaskugeln gestellt wurden. Während der ganzen Vegetationszeit wurde der Sand bei einem Wassergehalt von 46% seiner vollen Wasserkapazität gehalten, indem täglich reines, in Glasgefässen gesammeltes Regenwasser mittels Pipettieren zugegeben und das Gewicht durch Wägung jeden zweiten Tag durch Wasserzusatz konstant erhalten wurde. Neben dieser genau gleichmässigen Feuchtigkeitsversorgung wurde auch für eine möglichst gleichmässige Belichtung durch oftes Umstellen in einem regelmässigen Turnus gesorgt. Die Zahl der Pflanzen betrug in jenem Jahre 13 pro Topf.

I. Versuchsreihe mit Ca- und Mg-Nitrat.

Bei diesen Versuchen wurden Ca und Mg als Nitrate verabreicht. Die Mengen wurden bei gleicher Gesamt-Anzahl von Molekülen der beiden untereinander so variiert, dass in 2 Gruppen ein 20facher Ueberschuss der einen oder der anderen herrschte, während in einer Gruppe gleiche Molekularmengen vorhanden waren; alle mussten aber möglichst dieselbe Anzahl Moleküle N haben. Es kamen so folgende Kalk- und Magnesia-Verhältnisse zustande:

Gruppe A $\frac{CaO}{MgO} = \frac{20}{1}$ Gruppe B $\frac{CaO}{MgO} = \frac{1}{1}$ Gruppe C $\frac{CaO}{MgO} = \frac{1}{20}$

Die absoluten Mengen, die sich durch Umrechnen mit dem Molekulargewicht ergaben, waren pro 10 kg Sand:

Gruppe A				
$Ca(NO_3)_2$	20 Moleküle	× 164 =	3280 mg
$Mg(NO_3)_2$	1 „	× 148 =	148 „
	21		3428

Gruppe B				
$Ca(NO_3)_2$	10,5 Moleküle	× 164 =	1722 mg
$Mg(NO_3)_2$	10,5 „	× 148 =	1554 „
	21		3276

Gruppe C				
$Ca(NO_3)_2$	1 Moleküle	× 164 =	164 mg
$Mg(NO_3)_2$	20 „	× 148 =	2960 „
	21		3124

Diese Mengen, die sich auf wasserfreie Substanz beziehen, wurden noch korrigiert, indem für jedes Salz eine Wasserbestimmung gemacht und die Zahlen darnach erhöht wurden.

Die Nitrate wurden bei diesem Versuch nicht auf einmal gegeben, sondern auf drei Teile während der Vegetationszeit verteilt.

Die erste Gabe wurde kurz nach der Bestellung, die zweite nach 43 Tagen und die dritte nach weiteren 11 Tagen in der Blütezeit gegeben. In dieser Weise wurde nicht nur der Stickstoff, sondern auch Kalk und Magnesia auf verschiedene kleinere Gaben verteilt:

Die allgemeine Grunddüngung des Sandes war:

Kaliumsulfat	2,0 g	pro 10 kg Sand
Kaliummonophosphat .	2,0 „	
Eisensulfat	0,5 „	

Sie wurde vor der Saat in flüssiger Form gegeben.

Der Versuch begann am 5. Mai 1909, indem 13 durch einen $2^1/_3$ mm-Sieb gesiebte und genau gleichmässig sortierte, in destilliertem Wasser vorgequellte und vorgekeimte Körner von Petkuser Sommerroggen in jeden Topf in gleichen Abständen gleich tief gepflanzt wurden.

Von jeder der oben erwähnten Gruppen wurden zwei Paralleltöpfe angesetzt und ausserdem noch eine dritte Parallelserie in kleinen Töpfen für besondere Untersuchungen während der Vegetationszeit, die im II. Teil dieser Arbeit näher beschrieben sind. Die Pflanzen wuchsen gesund auf und entwickelten sich normal, ohne von irgendeiner Krankheit ergriffen zu werden.

Die Blüte fand Ende Juni statt und dabei stellte sich heraus, dass die Gruppe C mit 1:20 viel später in ihrer Entwicklung war; besonders in den ersten Stadien der Vegetation machte sich dieser schädliche Einfluss des Magnesiaüberschusses deutlich bemerkbar, was mich veranlasste, in späteren Versuchen diese Beobachtung durch zahlreiche Messungen eingehender festzustellen.

Die Ernte, die am 4. September stattfand, wurde in der Weise ausgeführt, dass jeder Topf geleert und der Sand von dem Wurzelsystem mit einem Wasserstrahl vorsichtig abgespült wurde. Darnach wurden die Pflanzen jedes Topfes voneinander getrennt und eine jede für sich bearbeitet und untersucht und die Resultate auf nebenstehender Tabelle eingetragen. Bei jeder wurde die Bestockung untersucht, an den Halmen die Länge, Dicke sowie das Gewicht mit und ohne Blätter bestimmt und ebenso wurden die Wurzeln gewogen. Die Bruchfestigkeit und Tragfähigkeit bis zur Elastizitätsgrenze der Halme wurde ebenfalls durch eingehende Messungen geprüft und bestimmt mittels des Biegungsapparates von Kraus.[14]) Diese Resultate wurden ebenfalls auf die Tabellen eingetragen. Bei den Aehren wurden die Länge der Spindel jeder Aehre gemessen, dann das Gewicht der Aehre, sowie Zahl und Gewicht der Körner bestimmt.

Aus den mittleren Zahlen für jede Pflanze wurden Mittelzahlen pro Topf berechnet und aus den Zahlen für die Pflanzen der einzelnen Töpfe jeder Gruppe allgemeine Mittelzahlen ausgerechnet.

Entsprechend den Verschiedenheiten in der Entwicklung der einzelnen Pflanzen und ihrer einzelnen Halme ergaben die Einzelbestimmungen wesentliche Abweichungen voneinander, auch die Mittel für alle Pflanzen der einzelnen Töpfe differieren bei diesem ersten Versuch zum Teil so weit, dass sich sichere Schlüsse daraus nicht ziehen lassen. Dagegen dürften sich bestimmte Ergebnisse in folgenden Punkten ableiten lassen:

1. Die gesamten Erntegewichte waren bei 1 : 20 wesentlich niedriger als bei 1 : 1 und 20 : 1; damit stimmen:

2. die geringeren Strohgewichte, Aehrengewichte, Körnerzahlen und absoluten Korngewichte bei 1 : 20.

---

[14]) C. Kraus, Lagerung der Getreide, 1908.

Zusammenstellung

der Versuche aus dem Jahre 1909

Gruppe A $\frac{CaO}{MgO}\ \frac{20}{1}$

	Serie III	Serie IV	Mittel
1. Gesamtzahl der Halme pro Topf . .	39	38	38,50
2. Aehrentragende Halme	35	37	36
3. Gesamternte in g pro Topf	62,73	51,63	57,18
4. Totalgewicht der Wurzeln	11,45	4,95	8,20
5. Totalgewicht der Halme (Stroh) . .	29,48	26,60	28,04
6. Mittelhöhe der Halme in mm . . .	912,29	931,75	922,02
7. Mittlere Internodienzahl	4,94	4,97	4,95
8. Mittlere Halmdicke (im 2. Intern.) mm	2,25	2,20	2,22
9. Tragfähigkeit der Halme (Elastizitätsgrenze) g	19,118	14,260	16,68
10. Senkung bei der Elastizitätsgrenze in °	17,30	17,40	17,35
11. Bruchfestigkeit der Halme in g . .	28,64	21,33	24,98
12. Senkung beim Bruch in °	30,50	31,15	30,82
13. Senkung bei gleicher Belastung (30g) in °	21,90	22,07	21,98
14. Zahl der Aehren pro Topf	35	37	36
15. Mittlere Länge der Aehren in mm .	49,22	50,10	49,66
16. Gewicht der Aehren pro Topf in g .	22,20	20,10	21,15
17. Körnerzahl pro Topf	677	668	672
18. Körnergewicht pro Topf in g . . .	17,99	16,57	17,28
19. Körnergewicht bei 105° getrocknet .	15,1872	16,1950	15,6911
20. 100-Korngewicht bei 105° getrocknet .	—	—	2,3349

*) Die 12 Einzeltabellen wurden der Einfachheit halber beim Druck ausgelassen und durch diese ersetzt.

der Resultate*)

mit Ca- und Mg-Nitrat.

Gruppe B $\frac{CaO}{MgO}$ $\frac{1}{1}$		
Serie III	Serie IV	Mittel
38	33	35,50
38	33	35,50
58,35	57,95	58,15
8,35	5,35	6,85
25,70	25,90	25,80
890,25	900,62	895,44
4,81	5,09	4,95
2,07	2,42	2,24
18,17	15,36	16,765
19,75	17,96	18,85
26,90	37,55	32,22
31,15	35,33	33,24
24,12	21,73	22,92
38	33	35,5
51,59	57,54	54,56
24,30	26,70	25,50
679	813	746
21,60	20,33	20,96
18,7480	19,6815	19,2147
—	—	2,5756

Gruppe C $\frac{CaO}{MgO}$ $\frac{1}{20}$		
Serie III	Serie IV	Mittel
32	39	35,50
32	36	34,00
44,25	46,90	45,57
6,10	5,00	5,55
19,35	22,60	20,97
832,80	898,20	865,50
5,03	5,02	5,025
2,09	2,08	2,085
8,59	7,71	8,15
21,30	19,70	20,50
18,96	22,55	20,75
37,03	39,30	38,16
29,83	36,50	33,16
32	36	34
48,68	49,52	49,10
18,80	19,30	19,05
509	477	493
13,82	15,42	14,62
12,7120	13,8751	13,2935
—	—	2,6950

3. Die Kulturen 20 : 1 weisen grössere Halmlängen und Halmgewichte auf als 1 : 1, dagegen geringere Aehrenlängen, Aehrengewichte und 100-Körnergewichte.

4. Bei den 1 : 20-Pflanzen sind die Halme von geringerer Tragfähigkeit, Bruchfestigkeit und Steifheit als bei den andern.

Die Kulturen 1 : 20 sind sonach in allen erwähnten Punkten gegen 1 : 1 zurückgeblieben; bei 20 : 1 erstreckt sich die Abminderung gegenüber 1 : 1 nur auf die Aehren- und Körnerbildung. Die Strohbildung war sogar bei 20 : 1 grösser.[15])

II. Versuchsreihe mit Ca- und Mg-Karbonaten.

In dieser Versuchsreihe wurden die Ca- und Mg-Gaben nicht als Nitrate, sondern, um den natürlichen Verhältnissen näher zu kommen, als Karbonate gegeben. Dazu verschaffte ich mir reinen, feingepulverten Magnesit aus dem Merckschen Phosphatwerk zu Harburg a. Elbe und reinen Carraramarmor, den ich fein verpulverte. Die Mengen und Verhältnisse, in welchen diese Salze verabreicht wurden, waren für 10 kg Sand berechnet, folgende:

Gruppe:	A	B	C	D	E	F
Verhältnisse v. CaO : MgO	9 / 1	3 / 1	1 / 1	2 / 1	1 / 3	1 / 9
$CaCO_3$	18 = 180	15 = 150	10 = 100	13,5 = 135	5 = 50	2 = 20
$MgCO_3$	2 = 16,8	5 = 42	10 = 84	6,5 = 54,6	15 = 126	18 = 151,2
	20 196,8	20 192	20 184	20 189,6	20 176	20 171,2

Im übrigen wurde in dieser Versuchsreihe unter Verwendung gleicher Töpfe ähnlich wie bei den Nitratver-

[15]) Vergl. hiezu S. 50. Die stärkere Strohbildung bei 20 : 1 könnte durch die bei dieser Gruppe etwas grösserer Stickstoffzufuhr verursacht sein.

suchen verfahren: Die Töpfe (zwei für jede Gruppe) wurden je mit 11 kg reinem Quarzsand gefüllt, in welchen folgende absolute Mengen Marmorstaub und Magnesit, die den obigen Molekularmengen entsprechen, beigemischt waren:

Topf:	A	B	C	D	E	F
$CaCO_3$	198,00	165,00	110,00	148,50	55,00	22,00
$MgCO_3$	18,48	46,20	92,40	60,00	138,60	166,32

Ausserdem erhielt jeder Topf eine gleiche Grunddüngung, die als Lösung aufgegossen wurde:

K_2SO_4 . . . 2,00
KH_2PO_4 . . 2,00
NH_4NO_3 . . 3,00
Fe_2Cl_6 . . . Spur

} pro 10 kg Sand.

Die Stickstoffzugabe erfolgte aber nicht sofort und nicht auf einmal, sondern in 4 Gaben verteilt, von welchen die erste 8 Tage nach der Saat, die zweite nach weiteren 14 Tagen, die dritte nach abermals 14 Tagen verabreicht wurde. Die vierte wurde wegen vorgerückter Zeit und des ohnedies üppigen Wachstums weggelassen. Zu den 12 grossen Töpfen kam noch eine Parallelserie von 6 kleinen Töpfen, zum Zwecke der Gewinnung von Material für mikroskopische Untersuchungen. In jeden Topf wurden 13 Körner gepflanzt und alle Pflanzen daraus gelangten gesund zur Reife.

Gesät wurde am 5. Mai 1909 und geerntet am 4. September. Die Töpfe wurden stets bei dem Wassergehalt von 46% der vollen Wasserkapazität des Sandes und in der Blüte auf 50% davon gehalten wie bei den Nitratversuchen durch tägliches Nachgiessen von genau abpipettierten Mengen Regenwasser und Wägen jeden zweiten Tag.

Während der Vegetationszeit, die normal verlief, wur-

den nach dem ersten Monat schon einige Unterschiede in der Grösse der Pflanzen bemerkt (obwohl nicht so deutlich wie bei den Nitratversuchen, wo auch die Extreme viel grösser waren), die zur Zeit der Blüte ihr Maximum erreichten und später nicht mehr so gut sichtbar waren. Diese Unterschiede in verschiedenen Vegetationsperioden, welche im folgenden Jahr eingehender untersucht wurden, zeigen deutlich die nebenstehenden Photographien, die am 15. Juni, 4. Juli und 9. August aufgenommen wurden. Das Bild vom 4. Juli, wo die Pflanzen in voller Blüte standen, zeigt die höchste Entwicklung der Pflanzen bei den Töpfen mit dem Verhältnis 1 : 1 oder 2 : 1. Besonders ist hervorzuheben, dass die Blüte sowie die Reife der Pflanzen viel früher bei den Töpfen mit $CaO : MgO = 1 : 1$ auftraten.[16]) Die Verarbeitung der Ernte wurde in genau derselben Art wie bei den Nitratversuchen ausgeführt.

Fig. 1. Gruppe A $\frac{9}{1}$ B $\frac{3}{1}$ C $\frac{1}{1}$ D $\frac{2}{1}$ E $\frac{1}{3}$ F $\frac{1}{9}$ $\frac{CaO}{MgO}$

15. Juni 1909. Sandkulturen mit Sommerroggen.

Die Höhenunterschiede sind hier im Jugendzustand noch wenig deutlich.

---

[16]) So hatten z. B. die Pflanzen der Gruppe C am 18. Juni schon 7 Aehren pro Topf, dagegen diejenigen der Gruppe A mit 9 : 1 nur 3 bis 4 Aehren und F (1 : 9) noch keine.

Fig. 2. Gruppe A $\frac{9}{1}$ B $\frac{3}{1}$ C $\frac{1}{1}$ D $\frac{2}{1}$ E $\frac{1}{3}$ F $\frac{1}{9}$ $\frac{CaO}{MgO}$

4. Juli.

Die Höhenunterschiede sind in diesem Stadium am besten sichtbar.

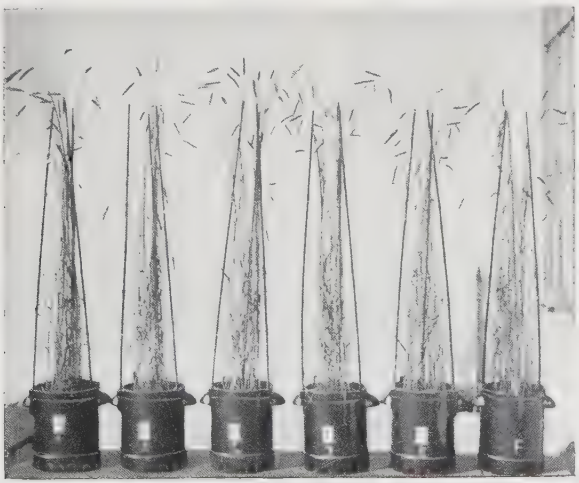


Fig. 3. Gruppe A $\frac{9}{1}$ B $\frac{3}{1}$ C $\frac{1}{1}$ D $\frac{2}{1}$ E $\frac{1}{3}$ F $\frac{1}{9}$ $\frac{CaO}{MgO}$

3. August.

Die Höhenunterschiede haben sich hier wieder etwas ausgeglichen.

Zusammenstellung der Resultate*)

der Versuche aus dem Jahre 1909
mit Ca- und Mg-Karbonat.

	Gruppe A $\frac{CaO}{MgO} = \frac{9}{1}$		
	Serie I	Serie II	Mittel
1. Gesamtzahl der Halme pro Topf . .	38	31	34,5
2. Aehrentragende Halme	29	25	27
3. Gesamternte in g pro Topf	68,45	88,55	78,50
4. Totalgewicht der Wurzeln	7,45	16,95	12,20
5. Totalgewicht der Halme (Stroh) . .	33,75	30,60	32,17
6. Gewicht der Halme ohne Blätter . .	25,15	23,00	24,07
7. Mittelhöhe der Halme in mm . . .	1118,03	957,03	1037,53
8. Mittlere Internodienzahl	5,70	5,31	5,50
9. Mittlere Halmdicke	3,17	2,84	3,00
10. Tragfähigk. d. Halme (Elastizitätsgr.) g	17,33	13,75	15,54
11. Senkung bei der Elastizitätsgrenze in °	15,85	15,12	15,48
12. Bruchfestigkeit der Halme in g . . .	45,77	38,16	41,96
13. Senkung beim Bruch in °	36,00	33,58	34,79
14. Senkung b. gleicher Belastung (30 g) in °	17,20	20,40	18,80
15. Mittlere Länge der Aehren in mm .	60,60	63,20	61,90
16. Gewicht der Aehren pro Topf in g .	27,25	29,40	28,32
17. Körnerzahl pro Topf	633	643	638
18. Körnergewicht	19,550	22,200	20,8750
19. Gewicht von 100 Körnern			3,2719

*) Die 24 Einzeltabellen bei jeder Gruppe wurden der Einfachheit alber beim Druck weggelassen.

Zusammenstellung der Resultate

der Versuche aus dem Jahre 1909
mit Ca- und Mg-Karbonat.

	Gruppe B $\frac{CaO}{MgO} = \frac{3}{1}$		
	Serie I	Serie II	Mittel
1. Gesamtzahl der Halme pro Topf . .	32	32	32
2. Aehrentragende Halme	30	31	30,5
3. Gesamternte in g pro Topf	60,40	63,20	61,80
4. Totalgewicht der Wurzeln	6,55	6,90	6,72
5. Totalgewicht der Halme (Stroh) . .	30,45	31,85	31,10
6. Gewicht der Halme ohne Blätter . .	21,60	24,35	22,97
7. Mittelhöhe der Halme in mm . . .	1078,33	1100,49	1089,41
8. Mittlere Internodienzahl	5,66	5,54	5,60
9. Mittlere Halmdicke	2,82	2,56	2,69
10. Tragfähigk. d. Halme (Elastizitätsgr.) g	16,18	13,86	15,02
11. Senkung bei der Elastizitätsgrenze in °	16,62	16,23	16,42
12. Bruchfestigkeit der Halme in g . . .	33,36	38,96	36,16
13. Senkung beim Bruch in °	32,40	37,73	35,06
14. Senkung b. gleicher Belastung (30 g) in °	20,75	27,55	24,15
15. Mittlere Länge der Aehren in mm . .	59,30	61,70	60,50
16. Gewicht der Aehren pro Topf in g .	23,40	24,45	23,92
17. Körnerzahl pro Topf	634	649	641
18. Körnergewicht	18,850	19,050	18,9500
19. Gewicht von 100 Körnern			2,9563

Zusammenstellung der Resultate

der Versuche aus dem Jahre 1909
mit Ca- und Mg-Karbonat.

	Gruppe D $\frac{CaO}{MgO} = \frac{2}{1}$		
	Serie I	Serie II	Mittel
1. Gesamtzahl der Halme pro Topf . .	35	31	33
2. Aehrentragende Halme	26	27	26,5
3. Gesamternte in g pro Topf	65,05	74,85	69,95
4. Totalgewicht der Wurzeln	8,20	13,60	10,90
5. Totalgewicht der Halme (Stroh) . .	30,45	34,05	32,25
6. Gewicht der Halme ohne Blätter . .	21,40	25,85	23,62
7. Mittelhöhe der Halme in mm . .	1061,85	1153,14	1107,49
8. Mittlere Internodienzahl	5,81	5,81	5,81
9. Mittlere Halmdicke	3,00	3,11	3,06
10. Tragfähigkeit d. Halme (Elastizitätsgr.) g	17,30	24,05	20,67
11. Senkung bei der Elastizitätsgrenze in °	16,26	14,47	15,36
12. Bruchfestigkeit der Halme in g . . .	41,73	49,89	45,81
13. Senkung beim Bruch in °	37,47	33,26	35,86
14. Senkung b. gleicher Belastung (30 g) in °	21,25	17,35	19,30
15. Mittlere Länge der Aehren in mm .	62,65	65,74	64,19
16. Gewicht der Aehren pro Topf in g .	26,40	27,20	26,80
17. Körnerzahl pro Topf	645	691	668
18. Körnergewicht	22,006	21,600	21,800
19. Gewicht von 100 Körnern			3,2639

Zusammenstellung der Resultate

der Versuche aus dem Jahre 1909
mit Ca- und Mg-Karbonat.

	Gruppe C $\frac{CaO}{MgO} = \frac{1}{1}$		
	Serie I	Serie II	Mittel
1. Gesamtzahl der Halme pro Topf . .	34	32	33
2. Aehrentragende Halme	27	31	29
3. Gesamternte in g pro Topf	72,45	76,85	74,65
4. Totalgewicht der Wurzeln	9,95	10,80	10,37
5. Totalgewicht der Halme (Stroh) . .	31,35	33,15	32,25
6. Gewicht der Halme ohne Blätter . .	24,10	24,70	24,40
7. Mittelhöhe der Halme in mm . . .	1201,66	1219,19	1210.42
8. Mittlere Internodienzahl	5,00	5,61	5,30
9. Mittlere Halmdicke	2.945	3,18	3,06
10. Tragfgk. d. Halme (Elastizitätsgr.) g .	21,9	25,03	23,46
11. Senkung b. d. Elastizitätsgrenze in ° .	15,9	17,20	15,50
12. Bruchfestigkeit der Halme in g . . .	46,5	46,74	46,62
13. Senkung beim Bruch in °	33,8	36,77	35,28
14. Senkung b. gleicher Belastg. (30 g) in ° .	18,8	20,40	19,60
15. Mittlere Länge der Aehren in mm .	60,82	67,51	64,16
16. Gewicht der Aehren pro Topf in g .	31,15	32,90	32,02
17. Körnerzahl pro Topf	782	856	819
18. Körnergewicht	26,450	27,700	27,0750
19. Gewicht von 100 Körnern			3,2312

Zusammenstellung der Resultate

der Versuche aus dem Jahre 1999
mit Ca- und Mg-Karbonat.

	Gruppe E $\frac{CaO}{MaO} = \frac{1}{3}$		
	Serie I	Serie II	Mittel
1. Gesamtzahl der Halme pro Topf . .	35	31	33
2. Aehrentragende Halme	30	30	30
3. Gesamternte in g pro Topf	77,30	75,65	76,47
4. Totalgewicht der Wurzeln	9,75	11,80	10,77
5. Totalgewicht der Halme (Stroh) . . .	38,40	34,50	36,45
6. Gewicht der Halme ohne Blätter . .	29,40	23,90	26,65
7. Mittelhöhe der Halme in mm . . .	1186,22	1045,00	1115,61
8. Mittlere Internodienzahl	5,41	5,60	5,50
9. Mittlere Halmdicke	3,18	2,96	3,07
10. Tragfähigk. d. Halme (Elastizitätsgr.) g	14,73	11,96	13,34
11. Senkung bei der Elastizitätsgrenze in °	15,57	16,07	15,80
12. Bruchfestigkeit der Halme in g . . .	33,11	34,37	33,74
13. Senkung beim Bruch in °	35,76	39,29	37,52
14. Senkung bei gleicher Belastung (30 g) in °	19,00	25,14	22,07
15. Mittlere Länge der Aehren in mm .	62,46	62,63	62,54
16. Gewicht der Aehren pro Topf in g .	29,15	29,35	29,25
17. Körnerzahl pro Topf	752	666	709
18. Körnergewicht	23,950	22,650	23,3000
19. Gewicht von 100 Körnern			3,2863

Zusammenstellung der Resultate

der Versuche aus dem Jahre 1909
mit Ca- und Mg-Karbonat.

	Gruppe F $\frac{CaO}{MgO} = \frac{1}{9}$		
	Serie I	Serie II	Mittel
1. Gesamtzahl der Halme pro Topf . .	37	34	35,5
2. Aehrentragende Halme	32	28	30
3. Gesamternte in g pro Topf	69,05	57,60	63,32
4. Totalgewicht der Wurzeln	8,70	5,55	7,12
5. Totalgewicht der Halme (Stroh) . .	33,00	27,20	30,10
6. Gewicht der Halme ohne Blätter . .	22,85	20,35	21,60
7. Mittelhöhe der Halme in mm . . .	1064,37	951,93	1008,15
8. Mittlere Internodienzahl	5,28	5,61	5,44
9. Mittlere Halmdicke	2,925	2,92	2,92
10. Tragfähigk. d. Halme (Elastizitätsgr.) g	11,50	13,70	12,60
11. Senkung bei der Elastizitätsgrenze in °	14,25	16,30	15,27
12. Bruchfestigkeit der Halme in g . . .	35,25	36,70	35,97
13. Senkung beim Bruch in °	30,00	38,17	34,08
14. Senkung b. gleicher Belastung (30 g) in °	22,95	24,50	23,72
15. Mittlere Länge der Aehren in mm .	59,66	62,77	61,21
16. Gewicht der Aehren pro Topf in g .	27,35	24,90	26,12
17. Körnerzahl pro Topf	751	615	683
18. Körnergewicht	24,700	21,200	22 9500
19. Gewicht von 100 Körnern			3,3455

Auch in dieser Versuchsreihe differieren die einzelnen Topfmittel bei verschiedenen Feststellungen voneinander, jedoch dürften die folgenden Ergebnisse als zuverlässig anzusprechen sein:

1. Die Kulturen 1:1 und 2:1 weisen durchschlagende Unterschiede voneinander in den Halmlängen und namentlich in der Aehren- und Kornbildung auf; 1:1 hatte durchschnittlich längere Halme und viel körnerreichere, schwerere Aehren.

2. Bei den Kulturen 1:3 waren die Halme kürzer, weniger tragfähig und bruchfest als bei 1:1 und 2:1. Die Aehren- und Korngewichte stehen zwischen 1:1 und 2:1.

3. Die Kulturen 1:3 und 1:9 stehen einander nahe, wobei sie gleichzeitig von 1:1 und 2:1 abweichen. Bei 1:9 ist die Ueppigkeit des Wuchses beträchtlich zurückgegangen, die Halme sind leichter und weniger tragfähig geworden, die Aehrengewichte niedriger als bei 1:3.

4. Für die kalkreicheren Mischungen (über 2:1 hinaus) können gegenüber 2:1 sichere Verschiedenheiten nicht erschlossen werden.

5. Im ganzen war die Ausbildung bei den Kulturen 1:1 am besten. — Hier machte sich schon während der Vegetationszeit eine beschleunigte Entwicklung bemerkbar.*) — Bei 1:3 war sie schon geringer, indem zunächst die Aehren- und Korngewichte sanken, noch mehr war dies bei gleichzeitiger Abnahme der gesamten Ausbildung bei 1:9 der Fall. Jedoch war die Aehren- und Kornbildung bei 1:3 noch wesentlich besser als bei 2:1 und selbst bei 1:9 stand sie bei dieser noch ziemlich gleich und war sie höher als bei 3:1 und 9:1. Die Tragfähigkeit der Halme war bei den stärkeren Magnesiagaben mehr gedrückt als bei den stärkeren Kalkgaben. Im Vergleich mit den Ergebnissen der Versuchsreihe 1, wo die Unterschiede im Verhältnis von CaO:MgO viel grösser waren,

*) Siehe pag. 34.

hat auch in Versuchsreihe 2 das weitere Magnesiumverhältnis 1:9 die Entwicklung geschwächt, die Gesamtähren- und Körnerproduktion, sowie die Festigkeit der Halme herabgedrückt, auch waren bei dem weiteren Kalkverhältnis 9:1 Aehren- und Korngewichte niedriger als bei 1:1; die Halmlängen verhielten sich abweichend.

In den Hauptpunkten: Beste Aehren- und Kornbildung durch 1:1 gegenüber den anderen Verhältnissen; Schwächung der Entwicklung bei mehr Magnesia; keine Schwächung, eher Verstärkung der Wachstumsüppigkeit bei mehr Kalk, stimmen die Ergebnisse der beiden Versuchsreihen überein. Beide Versuchsreihen zeigen also, dass ein wechselndes Kalk- und Magnesiaverhältnis einen wesentlichen Einfluss auf die Ernte haben kann.

Wenn wir obige Ergebnisse mit denen der Versuche von Aso, Furuta oder Daikuhara vergleichen, so fällt auf, dass beide zwar im wesentlichen übereinstimmten, dass aber die Unterschiede bei den Versuchen des Verfassers viel geringer sind als bei jenen der genannten Forscher. Aehnlich geringe Unterschiede haben auch andere Forscher gefunden und vor kurzem erschien eine Arbeit von D. Meyer,[17]) der noch viel geringere und dazu wenig übereinstimmende Resultate fand, was ihn auch veranlasste, den ganzen Einfluss eines günstigen Kalk- und Magnesiaverhältnisses als unbegründet zu erklären. In einer darauffolgenden Erwiderung erwähnte aber Loew (S. 1006 der Landw. Jahrb. 1910) als Hauptgrund des Misslingens dieser Versuche die übermässig grosse Anzahl der Pflanzen pro Topf (20 Pflanzen in 6 kg Boden) und eine für Topfversuche bei schlechtem Boden ganz ungenügende Düngung, die deshalb keine beachtenswerten Resultate geben konnten, weil die Wurzeln grösstenteils an der Wandung hinliefen und mit der mine-

[17]) D. Meyer, Die Kalk- und Magnesiadüngung, Berlin 1910, P. Parey.

ralischen Nahrung zu wenig in Berührung kamen.[18]) Da es interessant schien, die Ansicht von Loew über die Folgen der zu grossen Pflanzenzahl in einem Topf, die er auch schon früher geäussert hatte, auch experimentell zu prüfen, stellte Verfasser gleichzeitig mit den beiden bisher erwähnten Versuchsreihen, bei denen mit Nitraten, sowie bei denen mit Karbonaten, noch eine dritte Parallelserie an, bei der Düngung und Behandlung genau dieselbe wie in den beiden anderen war und nur der einzige Unterschied bestand, dass, während in den zwei Normalversuchsreihen 13 Pflanzen 11 kg Sand hatten, in der Vergleichsreihe dieselbe Anzahl Pflanzen nur 4 kg Sand zur Verfügung hatte. Das Verhältnis war also ganz ähnlich wie bei Meyer.

Die Pflanzen, die am selben Tag und in derselben Art wie die andern gesät wurden, zeigten bald ein ganz anderes Aussehen und blieben auch bedeutend kleiner. Sie erreichten kaum 50 cm Höhe beim Versuch mit Nitraten und 65 cm beim Versuch mit Karbonaten. Unterschiede im Verlauf der Entwicklung waren hier nicht bemerkbar. Die Pflanzen wurden nach Austritt der Aehren am Schlusse des Schossens in grünem Zustand geerntet. Die folgenden Tabellen zeigen, dass die erwähnte Annahme Loews sich experimentell bestätigt. Während bei den Nitratversuchen in den grossen Töpfen die Gesamternte bei 1 : 20 gegen 1 : 1 um 12,58 g niedriger war, wurde die Trockensubstanz in den gleichartig gedüngten kleinen Töpfen zwar im gleichen Sinne, aber um kaum 0,2 g niedriger. Das sind recht geringe Unterschiede, die leicht durch Zufälligkeiten verwischt oder ins Gegenteil verkehrt werden können. Allerdings könnte man einwenden, dass sich allenfallsige Unterschiede stärker hätten zeigen können, wenn man die Pflanze hätte ausreifen lassen,

[18]) Den gleichen Einwand machte Loew geltend gegenüber den in Landwirtsch. Jahrbüchern 1911, S. 173, veröffentlichten Versuchen von Lemmermann. Siehe Chem. Ztg. 1011, Nr. 87, S. 801.

Erntesultate der Serie VI.

Sommerroggen mit Ca- u. Mg-Nitrat aus dem Jahre 1909.

13 Pflanzen in 4 kg Sand.

Gruppe A $\frac{CaO}{MgO} = \frac{20}{1}$

Pflanze Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Mittel
Halmlänge (mm) . .	540	415	425	625	425	530	425	510	410	485	530	430	385 350	463
Gewicht (grün) . . .	3,150	3,750	3,750	3,350	3,300	3,75	2,20	1,550	1,350	3,550	1,90	2,250	3,450	2,8692

Trockengewicht (100°) für den ganzen Topf 4,0695 g Mittel pro Pflanze 0,3133 g

Gruppe B $\frac{CaO}{MgO} = \frac{1}{1}$

Pflanze Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Mittel
Halmlänge (mm) . .	605	480	405	385	640	530	440	500	405	350	410	570	445	474
Gewicht (grün) . . .	2,250	3,550	1,750	1,850	2,400	2,100	2,100	2,100	1,400	1,600	1,750	3,100	2,400	2,1808

Trockengewicht für den ganzen Topf 4,2748 g Mittel pro Pflanze 0,3288 g

Gruppe C $\frac{CaO}{MgO} = \frac{1}{20}$

Pflanze Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Mittel
Halmlänge (mm) . .	290	620	600	510	305	285	470	520	590	360	440	560	480	463
Gewicht (grün) . . .	1,900	3,900	1,650	4,000	1,300	1,450	1,900	1,950	4,000	0,500	1,800	2,500	1,300	2,165

Trockengewicht für den ganzen Topf 4,0725 g Mittel pro Pflanze 0,3132 g

Erntesultate der Serie V.

Sommerroggen mit Ca- und Mg-Karbonat aus dem Jahre 1909.

13 Pflanzen in 4 kg Sand,

Gruppe A $\frac{CaO}{MgO} = \frac{9}{1}$

Pflanze Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Summe	Mittel
Halmlänge (mm) . . .	600	610	380	400	745	540	220	480	550	480	530	570	520	6625	509,6
Gewicht d. grün. Pflanzen	0,900	1,200	0,580	0,750	1,650	1,500	0,600	0,950	1,150	1,400	1,100	1,750	0,850	14,380	1,114

Gewicht aller Wurzeln 6,550 g, Trockengewicht (100°) für den ganzen Topf . . . 3,8999.

Gruppe B $\frac{CaD}{MgO} = \frac{3}{1}$

Pflanze Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Summe	Mittel
Halmlänge (mm) . . .	630	610	560	480	380	570	620	410	550	530	640	500	460 290	7230	516,4
Gewicht d. grün. Pflanzen	1,950	2,000	1,550	1,750	1,000	1,500	2,000	1,100	1,950	1,250	2,000	1,500	1,300	20,850	1,603

Gewicht aller Wurzeln 9,500 g. Trockengewicht (100°) für den ganzen Topf . . . 4,9901.

Gruppe C $\frac{CaO}{MgO} = \frac{1}{1}$

Pflanze Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Summe	Mittel
Halmlänge (mm) . . .	680	610	700	650	630 550	600	660	650	480	640	660 650	700	570	9430	628,6
Gewicht d. grün. Pflanzen	1,000	1,000	1,500	1,200	2,500	1,000	1,500	1,000	0,800	1,400	2,000	1,500	1,100	17,500	1,340

Gewicht aller Wurzeln 8,500 g. Trockengewicht (100°) für den ganzen Topf . . . 4,6500.

Gruppe D $\frac{CaO}{MgO} = \frac{2}{1}$

Pflanze Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Summe	Mittel
Halmlänge (mm) . . .	570 540	760	680	680	580	530	590	700	460	550	650	620	420	8330	595,0
Gewicht d. grün. Pflanzen	1,400	1,350	1,550	1,300	1,000	0,800	1,000	1,000	0.500	0,700	0,750	0.650	1,000	13,000	1,000

Gewicht aller Wurzeln 8,000 g, Trockengewicht (100°) für den ganzen Topf . . . 4,2755.

Gruppe E $\frac{CaO}{MaO} = \frac{1}{3}$

Pflanze Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Summe	Mittel
Halmlänge (mm) . . .	650 520	750	690	530	630	620	780	770	720	680	600	570	580	9090	649.2
Gewicht d. grün. Pflanzen	3,500	2,800	2,200	1,500	1,800	1,200	1,450	1,000	1,300	1,200	1,100	1,000	1,100	21,150	1,620

Gewicht aller Wurzeln 6,000 g, Trockengewicht (100°) für den ganzen Topf . . . 5,2010.

Gruppe F $\frac{CaO}{MgO} = \frac{1}{9}$

Pflanze Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Summe	Mittel
Halmlänge (mm) . . .	640	810	600	690	680	570	700	620	720	480	580	750 750	580 420	9590	639,3
Gewicht d. grün. Pflanzen	0,900	1,500	0,800	1,000	1,000	0,850	1,100	1,000	1,800	0,700	0,500	2,500	1,100	14,750	1,130

Gewicht aller Wurzeln 7,100 g, Trockengewicht (100°) für den ganzen Topf . . . 5,2650.

wie ja tatsächlich bei der Hauptversuchsreihe sehr wichtige Unterschiede in der Wirkung des Kalkmagnesiaverhältnisses in der Aehren- und Kornausbildung zutage getreten sind. Aber es wird darauf hinzuweisen sein, dass die absoluten Ertragsunterschiede bei den schwachen Pflanzen auch zunächst gering bleiben mussten, so dass die erwähnten Mängel einer derartigen Versuchsanstellung nicht verschwinden konnten. Auch die andere Versuchsreihe lässt nur ganz geringe Trockengewichtsunterschiede und keine Regelmässigkeit hierin ersehen und die Verteilung der Halmlänge weicht weit ab von jener in den analogen Hauptversuchen.

Es scheint deshalb kein anderer Schluss möglich als der, dass für ein günstiges Hervortreten gewisser physiologischer Unterschiede nur Pflanzen in Betracht kommen können, die sich möglichst normal, in möglichst viel Raum und reichlicher Düngung kräftig zu entwickeln vermögen.

Deshalb empfahl es sich auch bei den Versuchen, die im nächsten Jahre folgen sollten, um noch deutlichere Resultate zu erhalten, die Zahl der Pflanzen im Topf zu verringern und neben anderen Verbesserungen der Versuche auch möglichst eingehend die ganze Entwicklung der Pflanzen während ihres Wachstums bei verschiedenen Kalk- und Magnesiaverhältnissen zu beobachten.

B. Sandkulturen mit Sommerweizen 1910.

Der Sand, der zu diesen Versuchen diente, war ein fast vollständig kalkfreier Quarzsand aus Röhrmoos. Das Korn des Sandes war um 2 mm und die Reinheit viel grösser wie beim Sand in den vorjährigen Versuchen. Die chemische Analyse ergab ganz minimale Mengen CaO (0,002%) und eine unbestimmbare Menge MgO, so dass beide gegen die grossen Mengen der angewendeten Düngung gar nicht in Betracht kommen konnten. Ein Auswaschen mit Salzsäure und destilliertem Wasser konnte wegen der grossen Menge Sand nicht stattfinden und war auch wegen der Reinheit und Gleichmässigkeit des Sandes zwecklos.

Als Versuchstöpfe dienten dieselben grossen glasierten Töpfe wie im vorigen Jahre; sie wurden in gleicher Weise mit Glaskugeln tariert und mit 11 kg gut getrocknetem Sand gefüllt. Nach Bestimmung der Wasserkapazität des Sandes wurde der einzuhaltende Feuchtigkeitsgehalt auf 47,5% der vollen Wasserkapazität festgestellt und ähnlich wie im vorigen Jahr mittels Zugabe von abpipettierten Wassermengen und Wägungen konstant gehalten. Für das genaue und rasche Abmessen dieser Wassermengen wurde ausserdem folgende automatische Pipette erdacht und konstruiert:

Fig. 4.

Das mit Hilfe eines Gummiballons *a* aufgesaugte Wasser füllt eine Pipette *b*, deren oberes Ende genau mit der

Marke übereinstimmt. Das überflüssige Wasser wird in einem Vorstoss *c* gesammelt, aus welchem es manchmal durch den Hahn *d* ausgelassen werden kann. Das genau abpipettierte Wasser der Pipette *b* wird aber mittelst eines Druckes auf den Gummiballon durch eine giesskannenartige, mit vielen Löchern versehene untere Oeffnung auf den Sand gebracht, ohne ihn, wie es mit gewöhnlichen Pipetten meist vorkommt, zu verschwemmen und dadurch eine Kruste zu bilden. Es wurde in dieser Art auch ein viel genaueres und rascheres Abpipettieren ermöglicht. Ausser diesem Pipettieren wurde die Feuchtigkeit der Töpfe mit Wägungen jeden zweiten Tag aufs genaueste konstant gehalten.

Das Wasser war wie früher in Glasgefässen gesammeltes kalkfreies Regenwasser.

In diesem Jahre wurde ferner die Zahl der Parallelserien auf 3 erhöht für jeden Versuch; die Zahl der Pflanzen pro Topf ward aus den früher erwähnten Gründen*) auf 5 festgestellt und als Saatgut wurde Rimpaus Sommerweizen gewählt.

I. Versuchsreihe mit Ca- und Mg-Nitrat.

Da bei den früheren ähnlichen Versuchen besondere Sorge getragen wurde, bei allen Töpfen die Anzahl der Moleküle der Calcium- und Mg-Nitrate konstant zu halten, so geschah es, dass durch das Umrechnen der Moleküle in absolute Gewichte, infolge des grösseren Molekulargewichtes des Calciumnitrats die Gruppe A, die 20:1 als Kalkfaktor hatte, eine etwas grössere absolute Menge Stickstoff erhielt. Das erklärt auch vielleicht, warum diese Gruppe, obwohl sie (besonders in der Kornproduktion) weit unter der Gruppe mit richtigem Kalkfaktor (1:1) stand, doch in einigen Richtungen (wie in der Strohproduktion) mehr begünstigt war. Deshalb wurden in der neuen Versuchsreihe die Ca- u. Mg-Nitrat-

*) Siehe Seite 48 unten.

gaben in der Art variiert, dass hier die absoluten Mengen NO_3 überall gleich waren und die absoluten Mengen CaO und MgO variiert wurden (ähnlich wie bei Bernardini).

Die Berechnung erfolgte dabei in folgender Weise:

Es wurde von der Annahme ausgegangen, dass auf das Kilo Sand in allen Töpfen 0,5 NO_3 (genauer 0,449) in der Form von Ca- oder Mg-Nitrat enthalten sein müsse. Beim Konstantbleiben dieses Anions mussten die Basen CaO und MgO im Verhältnis von 20:1, 1:1 und 1:20 variieren.

Um nun zu finden, welche Mengen $Ca(NO_3)_2$ und $Mg(NO_3)_2$ dieser Verhältnisse nötig sind, haben wir für den Kalkfaktor 1:1 z. B. berechnet, dass proportional zum Molekulargewicht auf 1 Teil CaO 2,21 und auf 1 Teil MgO 3,1 NO_3 kommen, was auf unsere angenommene Menge für $Ca(NO_3)_2$ 0,187 und für $Mg(NO_3)_2$ 0,262 NO_3 beträgt (zusammen 0,449). Diese Zahlen entsprechen in Gramm für beide Basen 0,084 g CaO und 0,084 g MgO, also genau 1:1.

Diesen Gewichten entsprachen nun die absoluten Mengen

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}3538 \text{ g } Ca(NO_3)_2 + 4 \text{ aq} \\ 0{,}5376 \text{ g } Mg(NO_3)_2 + 6 \text{ aq} \end{array}\right\} \text{ pro Kilo Sand.}$$

In derselben Weise wurde für die Gruppe A mit dem Kalkfaktor 20:1 gerechnet und

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}8007 \text{ g } Ca(NO_3)_2 + 4 \text{ aq} \\ 0{,}0576 \text{ g } Mg(NO_3)_2 + 6 \text{ aq} \end{array}\right\} \text{ pro Kilo Sand gefunden}$$

und ebenso für Gruppe C mit dem Kalkfaktor 1:20

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}0252 \text{ g } Ca(NO_3)_2 + 4 \text{ aq} \\ 0{,}8960 \text{ g } Mg(NO_3)_2 + 6 \text{ aq} \end{array}\right\} \text{ pro Kilo Sand gefunden.}$$

In allen diesen Nitratmengen war also genau soviel NO_3 (0,449) gr NO_3 enthalten mit variierenden Mengen CaO:MgO, die sich verhielten wie 20:1, 1:1 und 1:20.

Die Grunddüngung für alle Töpfe war

Dinatriumphosphat . . .	0,5 g	pro Kilo Sand.
Kaliumsulfat	0,5	
Eisenchlorid	0,001	

Alle diese Mengen wurden (auf 11 Kilo umgerechnet) in flüssiger Form bei der Bestellung zugegeben.

Ferner wurde in diesem Jahre die ganze Menge Ca- und Mg-Nitrat auf einmal zugegeben und nicht mehr, wie im vorigen Jahr, auf mehrere Gaben verteilt, damit die Wirkung auch bei dieser Art der Verabreichung beobachtet werden konnte.

Zur Saat (am 27. April 1910) wurden durch ein $2^1/_8$ mm-Sieb gelassene, genau gleich sortierte, vorgequellte und gleichmässig vorgekeimte Körner der genannten Sorte von Sommerweizen verwendet und zu je 5 pro Topf in einer gleichmässigen Tiefe von 1 cm eingesenkt.

Die erste Entwicklung ging wegen eines anormal schlechten, regnerischen und kalten Wetters etwas langsam vor sich, bei den ersten schönen, warmen Tagen fingen die Pflanzen aber an, äusserst üppig und rasch emporzuwachsen. In dieser ersten Zeit wurde vor allem ein deutliches Zurückbleiben der Gruppe C mit MgO-Ueberschuss bemerkbar, und um dieses Zurückbleiben, sowie die ganze Entwicklung der Pflanzen genauer zu verfolgen, wurde vom 30. Tag ab jeden 10. Tag während der ganzen Vegetationsperiode, die genau 6 Monate dauerte, jede Pflanze einzeln gemessen und ihre grösste Höhe bis zur Spitze der längsten Blätter in besondere Tabellen eingetragen, und aus den Zahlen von allen Pflanzen und Töpfen wurden Mittelzahlen für jede Gruppe ausgerechnet. Die beiliegenden Tabellen und Kurven zeigen interessante Wachstumsunterschiede. Wir ersehen daraus vor allem, dass beim Kalkfaktor 1 : 1 die Pflanzen stets die grösste und höchste Entwicklung gehabt haben.

Eigentümlich ist das Wachstum der Pflanzen unter grossen Kalk- oder MgO-Ueberschüssen.

Höhenmessungen von Weizen unter dem Einfluss von verschiedenen Kalk-Magnesia-Verhältnissen in verschiedenen Wachstumsperioden (Ca-Mg-Nitrat).

		Datum der Messung:	27. Mai	7. Juni	23. Juni	3. Juli	13. Juli	26. Juli	6. Aug.	17. Aug.	27. Aug.	12. Sept.
Gruppe A	$\frac{20}{1} = \frac{CaO}{MgO}$	Serie XXVI	228	340	486	523	720	868	952	952	954	954
		„ XXVII	225	322	460	541	704	824	944	944	944	962
		„ XXVIII	216	347	450	542	740	830	880	900	900	903
		Mittel	**223**	**336**	**465**	**535**	**721**	**840**	**925**	**932**	**932**	**939**
	Nach der Formel $M = \sqrt{\frac{[v]^2}{n(n-1)}}$ ausgerechn. mittl. Fehler		±3,605	7,45	10,72	6,16	10,41	13,78	22,78	16,16	16,58	18,50
	mit den darausfolgenden Schwankungen		226,60	343,45	475,72	541,16	731,41	853,78	947,78	948,16	948,58	957,50
			219,40	328,55	454,28	528,84	710,59	826,22	902,22	915,84	915,42	920,50
Gruppe B	$\frac{1}{1} = \frac{CaO}{MgO}$	Serie XXVI	245	372	510	566	735	862	940	1032	1037	1036
		„ XXVII	228	354	510	564	752	938	1024	1030	1032	1032
		„ XXVIII	225	360	500	548	720	904	932	952	958	959
		Mittel	**232**	**362**	**506**	**559**	**735**	**901**	**965**	**1004**	**1009**	**1009**
	Nach der Formel $M = \sqrt{\frac{[v]^2}{n(n-1)}}$ ausgerechn. mittl. Fehler		± 6,24	5,33	3,36	5,70	9,25	21,98	29,44	26,53	25,54	25,02
	mit den darausfolgenden Schwankungen		238,24	367,33	509,36	564,70	744,25	922,98	994,44	1030,53	1034,54	1034,02
			225,76	356,67	502,64	553,30	725,75	879,02	935,56	977,47	983,46	983,98
Gruppe C	$\frac{1}{20} = \frac{CaO}{MgO}$	Serie XXVI	183	239	474	511	630	800	936	954	954	954
		„ XXVII	138	230	426	515	610	788	876	908	916	916
		„ XXVIII	165	268	430	480	620	846	896	904	906	908
		Mittel	**162**	**245**	**443**	**502**	**620**	**811**	**902**	**922**	**925**	**926**
	Nach der Forme $M = \sqrt{\frac{[v]^2}{n(n-1)}}$ ausgerechn. mittl. Fehler		±13,08	11,47	15,38	11,06	5,77	17,68	17,64	16,04	14,62	14,19
	mit den darausfolgenden Schwankungen		175,08	256,47	458,38	513,06	625,77	828,68	919,64	938,04	939,62	940,19
			148,92	233,53	427,62	490,94	614,23	793,32	884,36	905,96	910,38	911,81

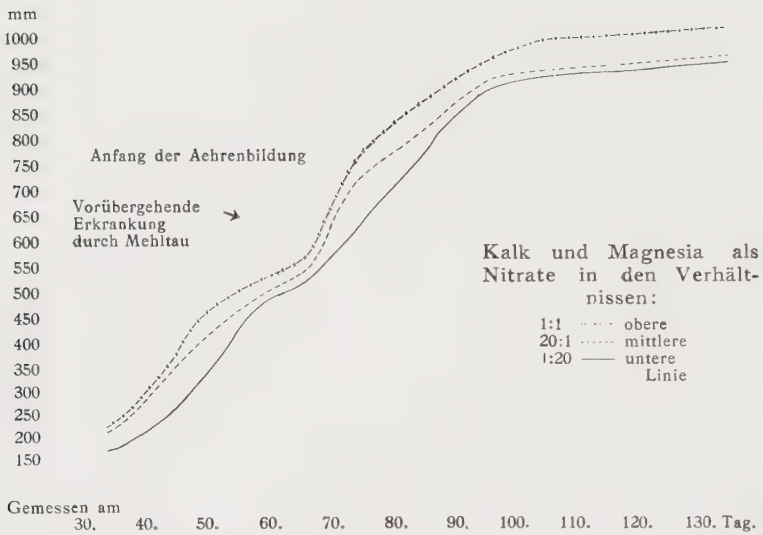


Fig. 5. Wachstumskurve des Versuches mit Weizen. Ohne Berücksichtigung der mittleren Fehlergrenze des arithmetischen Mittels.

Wenn wir die Zeichnung Fig. 5 ins Auge fassen, so sehen wir, dass im Anfangsstadium (im ersten Monat) die Höhen wenig voneinander verschieden sind; bald trennen sich aber die Linien, die Kurve des Mg-Ueberschusses bleibt hier weit tiefer als beim Optimalverhältnis. Bemerkenswert ist aber hier die Kurve, die das Wachstum der Pflanzen mit 20 fachem Kalküberschuss darstellt: im ersten Stadium läuft sie dicht neben der Optimalkurve — ein deutliches Zeichen, dass in diesem Stadium ein grösserer Kalküberschuss und MgO-Mangel der Pflanzen fast gleichgültig ist; später aber bei der Aehrenbildung trennt sich rasch diese Kurve von der Optimalkurve und nähert sich jetzt der unteren Kurve, die die stark deprimierten Pflanzen der Gruppe C mit Mg-Ueberschuss bezeichnet.

In diesem bestimmten Stadium des Schossens und der Blüte stehen die Kurven am weitesten voneinander: in diesem Stadium sind die Unterschiede auch

nach allen Beobachtungen am deutlichsten wahrnehmbar. Nach diesem läuft die erwähnte Kurve dicht neben der Minimalkurve und zeigt dadurch, wie ungünstig jetzt bei der Körnerbildung ein Kalküberschuss und Magnesiamangel wirkt.

Ferner ist bei der Betrachtung dieser Kurve eine zweite Tatsache bemerkenswert: nach dem zweiten Monat, wenn die Kurven gerade anfangen sich zu entfernen, laufen sie plötzlich in einen Punkt wieder dicht zusammen. Das bedeutet eine momentane Verminderung der Unterschiede in den Höhen der verschieden behandelten Pflanzen.

Nun überfiel gerade zu der Zeit eine starke Mehltauepidemie die Kulturen, die aber durch sachgemässe Pflege wieder geheilt wurde. Sobald diese Krankheit vorüber war und die Aehrenbildung begonnen hatte, ging die Entwicklung, wie die auseinandergehenden Kurven zeigen, wieder normal weiter. Dieser Fall schien uns aber ganz besonders interessant, da er wieder deutlich zeigt, dass bei dem kleinsten Kränkeln oder jeder Anomalie der Versuchspflanze die erwarteten Unterschiede bei verschiedenen Ca—Mg-Verhältnissen sehr zurückgehen oder gar verschwinden können. Dadurch werden vielleicht andere Resultate anderer Forscher bis zu einem gewissen Grade verständlich.

Obige Kurven sind, wie erwähnt, nach den Mittelzahlen ohne rechnerische Kontrolle der Fehler der Mittel aufgestellt. Berechnet man diese (nach der Formel $\pm M = \sqrt{\frac{[v]^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{[v]^2}{6}}$), so erhalten wir die Zahlen, die auf der Tabelle sichtbar sind, und wenn wir nun diese gefundenen Zahlen den früheren Mittelzahlen addieren bezw. subtrahieren, so bekommen wir die Grenzen, innerhalb welchen die Höhen der Pflanzen schwankten. Diesen entsprechend wurden auch folgende Kurven gezeichnet, worauf die Dicke der schraffierten Linien entsprechend diesen Schwankungen gehalten ist.

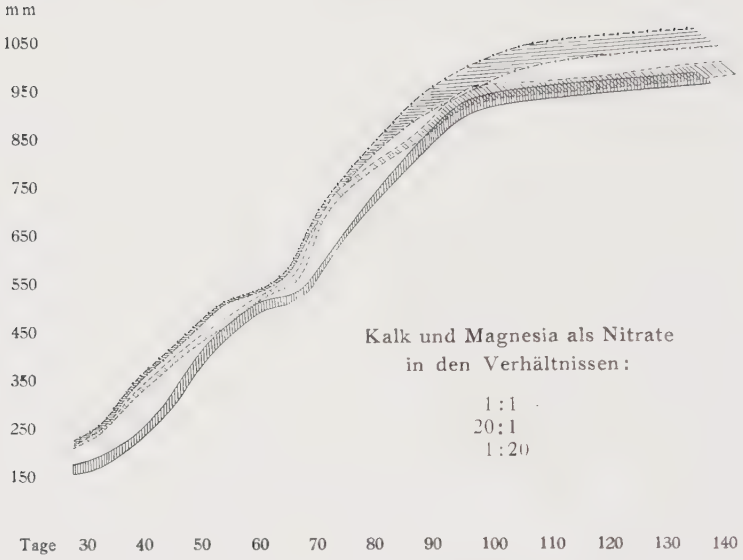


Fig. 6. Wachstumskurve des Versuches mit Weizen.
Mit Berücksichtigung der mittleren Fehlergrenze des arithmetischen Mittels nach der Formel: $\pm m = \sqrt{\frac{[v]^2}{n(n-1)}}$

Wie ersichtlich, ändert sich das Bild dadurch nicht wesentlich, die Kurve mit dem Verhältnis 1 : 1 läuft stets über den andern. Die Schwankungen scheinen auch bei dem Schossen und der Aehrenbildung am grössten zu sein.

Ausser diesen allgemeinen Beobachtungen des Wachstums der Pflanzen wurden während der Vegetationsperiode noch folgende spezielle Beobachtungen gemacht.

Gleich nach dem ersten Monat wurde an den Pflanzen, die sich unter einem 20fachen MgO-Ueberschuss entwickelten (Gruppe C), ein ganz charakteristisches Absterben der Blattspitzen bemerkt; die oberen Hälften der Spitzen vertrockneten und rollten sich fadenförmig zusammen. Diese ganz allgemeine Erscheinung, die ich bei allen Pflanzen, die unter Magnesiaüberschuss litten, fand, versuchte ich durch nebenstehende Photographie sichtbar zu machen.

Fig. 7. Durch MgO-Ueberschuss vertrocknete Blattspitzen bei zwei Paralleltöpfen der Gruppe C (CaO: MgO = 1:20)

Anfang Juni, als merkliche Unterschiede anfingen aufzutreten, wurde eine Serie photographiert, ebenso Ende Juli, als die Blüte und das Stadium der Maximalunterschiede in der Höhe der Pflanzen eintrat.

Fig. 8. Gruppe C $\frac{1}{20}$, B $\frac{1}{1}$, A $\frac{20}{1}$ (Anfang Juni) Sandkulturen mit Weizen (Kalk und Magnesia als Nitrat).

Fig. 9. Gruppe A $\frac{20}{1}$, B $\frac{1}{1}$, C $\frac{1}{20}$ $\frac{CaO}{MgO}$ (Ende Juli)

Sandkulturen mit Weizen (Kalk und Magnesia als Nitrat).

Das Wetter war in diesem Jahrgang ganz aussergewöhnlich feucht und kühl, so dass die Entwicklung auch sehr langsam vor sich ging; aus derselben Ursache trat, wie schon erwähnt, Mitte Juni auch eine starke Infektion von Erysiphe graminis ein, die durch Abschneiden der befallenen Blätter und starkes öfteres Bestauben mit feinem Schwefelpulver wieder zurückgedrängt werden konnte, da die Pflanzen äusserst üppig und sonst gesund waren.

Die Aehrenbildung trat gegen den 20. Juli ein, bei Gruppe B mit richtigem Kalkfaktor früher als bei den anderen. Von hier aus begannen die Höhenunterschiede, die, wie aus den vorigen Bildern sichtbar ist, bedeutend waren, immer geringer zu werden, um schliesslich, wie die Figur 10 zeigt, nahe bei der Reife fast ganz zu verschwinden.

Fig. 10. Gruppe A $\frac{20}{1}$, B $\frac{1}{1}$, C $\frac{1}{20}$ $\frac{CaO}{MgO}$ (Ende September)

Sandkulturen mit Weizen (Kalk und Magnesia als Nitrat).

Die kleineren Pflanzen des Magnesiaüberschusses 1 : 20 haben jetzt wenigstens mit einzelnen Halmen die anderen fast in der Höhe eingeholt, die Grösse und Zahl der Aehren ist aber, wie das Bild zeigt, viel kleiner.

Diese Unterschiede wurden nach der Ernte, die am 27. September stattfand, näher bestimmt.

Die Verarbeitung der Ernte ging in ähnlicher Weise wie im Vorjahre vor sich, nur wurden diesmal die einzelnen Pflanzenteile viel aufmerksamer beobachtet. So wurde z. B. der Sand von den Wurzelteilen zur Vermeidung jeder Verletzung ganz besonders vorsichtig mit einem sehr gelinden Wasserstrahl abgespült, die Wurzeln der einzelnen Pflanzen wurden nicht mehr wie früher getrennt, sondern Topf für Topf zusammen gelassen, gewogen, gepresst, photographiert usw.

Zusammenstellung der Ernteresultate

von Versuchen aus dem Jahre 1910 mit Weizen mit Ca- und Mg-Nitrat.

Gruppe A $CaO:MgO = 20:1$

	Serie XXVI Ernte pro		Serie XXVII Ernte pro		Serie XXVIII Ernte pro		Mittel Ernte pro	
	Topf	Pflanze	Topf	Pflanze	Topf	Pflanze	Topf	Pflanze
1. Gesamternte	44,310	8,862	54,974	10,9943	40,331	8,0665	46,538	9,307
2. Zahl der Halme	21	ca. 4	23	ca. 4	20	4	21	ca. 4
3. Zahl der Aehren	9	ca. 2	15	ca. 3	13	ca. 3	12	ca. 2
4. Gewicht der Wurzeln	7,975	1,595	7,769	1,5599	5,321	1,064	7,021	1,404
5. Gew. d. Halme m. Blätter (Strohgew.)	19,850	3,970	25,450	5,090	18,825	3,765	21,375	4,275
6. Gewicht der Halme ohne Blätter .	9,300	1,860	13,550	2,710	8,100	1,620	10,316	2,0632
7. Länge der Halme (im Mittel) . .	—	737,70	—	717,0	—	665,8	—	703,5
8. Dicke der Halme (am II. Internod.)	—	2,814	—	2,416	—	2,496	—	2,575
9. Länge der Aehren (mm)	—	820	—	744	—	748	—	770
10. Gewicht der Aehren (g)	16,4850	3,297	21,755	4,351	16,195	3,239	18,140	3,6286
11. Körnerzahl (in jedem Topf u. Aehre)	273	30	334	22	293	22	300	24
12. Körnergewicht (g)	12,2647	2,4529	14,183	2,836	13,1174	2,623	13,1884	2,6376
13. Gewicht von 100 Körnern . . .	4,4925	—	4,229]	—	4,483	—	4,4015	—

Zusammenstellung der Ernteresultate

von Versuchen aus dem Jahre 1910 mit Weizen mit Ca- und Mg-Nitrat.

Gruppe B $CaO : MgO = 1 : 1$

	Serie XXVI Ernte pro Topf	Serie XXVI Ernte pro Pflanze	Serie XXVII Ernte pro Topf	Serie XXVII Ernte pro Pflanze	Serie XXVIII Ernte pro Topf	Serie XXVIII Ernte pro Pflanze	Mittel Ernte pro Topf	Mittel Ernte pro Pflanze
1. Gesamternte	62,4897	51,6224*)	76,4725	15,2945	73,1025	14,6205	70,6863	15,1791
2. Zahl der Halme	25	ca. 5	25	5	22	ca. 4	24	ca. 5
3. Zahl der Aehren	13	ca. 3	18	ca. 4	19	ca. 4	16	ca. 3
4. Gewicht der Wurzeln	13,385	3,346*)	12,9775	2,5955	19,1525	3,8305	15,1716	3,034
5. Gew. d. Halme m. Blätter (Strohgew.)	25,624	6,406	29,850	5,970	25,350	5,070	29,0765	5,8153
6. Gewicht der Halme ohne Blätter .	11,100	2,7756	15,555	3,111	12,250	2,450	12,968	2,5936
7. Länge der Halme (im Mittel) . .	—	794,8	—	775,8	—	755,2	—	775,2
8. Dicke der Halme (am II. Internod.)	—	2,742	—	2,483	—	2,413	—	2,552
9. Länge der Aehren (mm)	—	801	—	786	—	755	—	780
10. Gewicht der Aehren (g)	24,330	6,0825	33,645	6,729	28,600	5,720	28,840	5,768
11. Körnerzahl (in jedem Topf u. Aehre)	372	28	459	25	399	21	410	25
12. Körnergewicht (g)	18,8071	3,7614	25,414	5,0829	22,9500	4,5800	22,3903	4,478
13. Gewicht von 100 Körnern . . .	5,054	—	5,536	—	5,751	—	5,447	—

*) Mittel von vier Pflanzen, da eine durch Insektenfrass verunglückte.

Zusammenstellung der Ernteresultate *)

von Versuchen aus dem Jahre 1910 mit Weizen mit Ca- und Mg-Nitrat.

Gruppe C $CaO : MgO = 1 : 20$

	Serie XXVI Ernte pro Topf	Serie XXVI Ernte pro Pflanze	Serie XXVII Ernte pro Topf	Serie XXVII Ernte pro Pflanze	Serie XXVIII Ernte pro Topf	Serie XXVIII Ernte pro Pflanze	Mittel Ernte pro Topf	Mittel Ernte pro Pflanze
1. Gesamternte	50,2025	10.0405	37.3028	7,4605	50,892	10,1784	46,0757	9,2198
2. Zahl der Halme	20	4	15	3	20	4	18	ca. 3
3. Zahl der Aehren	11	ca. 2	9	ca. 2	13	ca. 3	11	ca. 2
4. Gewicht der Wurzeln	8,3525	1,6705	7,3528	1,4705	8,8950	1,7790	8,1999	1,6399
5. Gew. d. Halme m. Blätter (Strohgew.)	25,950	5,190	17.850	3.570	22,250	4.450	22,0165	4.4033
6. Gewicht der Halme ohne Blätter	15,150	3,030	9,300	1,860	10,750	2,150	11,733	2,3462
7. Länge der Halme (im Mittel)	—	803,0	—	713,9	—	660,0	—	725,66
8. Dicke der Halme (am II. Internod.)	—	2,918	—	2,922	—	2,569	—	2,803
9. Länge der Aehren (mm)	—	810	—	814	—	775	—	799
10. Gewicht der Aehren (g)	15,900	3,1800	12,100	2,420	19,747	3,9494	15,540	—
11. Körnerzahl (in jedem Topf u. Aehre)	212	19	199	22	300	23	237	21
12. Körnergewicht (g)	12,478	2,4957	9.6968	1,9393	14.2250	2,845	12,1335	2,427
13. Gewicht von 100 Körnern	5,886	—	4,872	—	4,791	—	5,166	—

*) Die 9 Einzel-Tabellen wurden der Einfachheit halber beim Druck weggelassen.

Die sehr schönen Unterschiede in der Form dieser Wurzeln sind im zweiten Teil bei den Wurzelveränderungen besprochen.

Die Halme wurden wie im Vorjahre auf Länge, Zahl, Dicke der Internodien, Gewicht mit und ohne Blätter geprüft; und ebenso die Aehren, von denen jede einzeln gemessen und gewogen wurde. Hier ergab sich die merkwürdige Tatsache, dass fast bei allen Aehren der Gruppe C mit MgO-Ueberschuss (1:20) die oberste Region leer von Körnern war, was bei den anderen Gruppen nie vorkam. Diese tauben Aehrenspitzen scheinen mir besonders kennzeichnend, sie können mit dem von uns überall als für Mg-Ueberschuss und Mg-Vergiftung charakteristisches Absterben und Kränkeln der Spitzen, Sprossen und jungen Teile in Vergleich gestellt werden.

Die Versuchsergebnisse (s. Tabellen) zeigen, dass zwar im Vergleiche der Zahlen für die einzelnen Töpfe jeder Gruppe Differenzen vorliegen, deren Kalkulation jedoch ergibt, dass die folgenden Schlüsse dadurch nicht alteriert werden. Vor allem ergibt sich, dass sich das Gesamtgewicht der Pflanzen ganz bedeutend und deutlich nach dem Verhältnis CaO:MgO verändert hat, und dass es beim richtigen Kalkfaktor 1:1 um 65% gegenüber der Gesamternte mit 20:1 oder 1:20 gesteigert war. Am meisten war dabei der Körnerertrag berührt. Das Gewicht der Aehren, Körner, aber auch der Wurzeln stieg ganz bedeutend. Etwas weniger scheint das Strohgewicht beeinflusst zu sein und am wenigsten das Gewicht der Halme (ohne Blätter). Die Zahl und das Gesamtgewicht der Körner zeigt bei 1:1 eine ganz besonders grosse Steigerung. In dem 100-Körnergewichte stehen die Kulturen 1:1 ebenfalls obenan, etwas niedriger sind die von 1:20, aber viel beträchtlich geringer als beide die von 20:1. Man kann hierin den Einfluss erkennen, den die Gegenwart ausreichender Magnesiamengen auf die Kornbildung ausübt. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe bestätigen hier die

Versuchsreihe I 1909 (s. S. 32). Wenn dort das Halmwachstum stärker war bei 20:1 gegen 1:1, so liess sich als Ursache dieser Abweichung die etwas reichere Stickstoffernährung der Kulturen 20:1 geltend machen.

Zum Schluss mag eine ganz kurze Zusammenstellung der Erntemittel dieses Versuches angeführt werden:

CaO : MgO-Verhältnis	Totalernte g	Körnerernte g
20 : 1	46,538	13,188
1 : 1	70,686	22,390
1 : 20	46,686	12,133

II. Versuchsreihe mit Ca- und Mg-Carbonat.

Dieser Versuch, der vorzugsweise als verbesserte Kontrolle der ähnlichen Sandkulturen des vorherigen Jahres dienen sollte, wurde mit den allgemeinen Verbesserungen, die Seite 49 besprochen sind, wieder angestellt. Es wurden hier 5 Gruppen mit verschiedenen CaO:MgO-Verhältnissen gebildet: Gruppe A mit 9:1, Gruppe B mit 3:1, Gruppe C mit 1:1, Gruppe D mit 1:3 und Gruppe E mit 1:9.

Sand, Töpfe, Zahl der Pflanzen pro Topf, Gewicht und Feuchtigkeit der Töpfe waren genau dieselben wie bei der vorher besprochenen Versuchsreihe, der einzige Unterschied lag in der Form der CaO- und MgO-Düngung, die hier als schwerlösliche Karbonate in grösseren absoluten Mengen gegeben wurde. Die Mengen von Schlemmkreide und natürlichem Magnesit wurden in ähnlicher Art wie im vorhergehenden Jahre so ausgerechnet, dass die Summe beider Basen in Molekülen immer gleich 20 bei allen Töpfen blieb.

Es wurde aber besondere Sorgfalt auf den Reingehalt des Magnesits an $MgCO_3$ gerichtet, und da sich heraus-

stellte, dass dieser 4,30% Unreinigkeiten (Kieselsäure, Ton, Kalk, Eisen, Wasser) enthielt, wurde dieses alles abgerechnet. Die Mengen von reinem $MgCO_3$ und $CaCO_3$ wurden folgendermassen variiert:

	A	B	C	D	E
Kreide	198,000	165,00	110,00	55,00	22,000
Magnesit	19,404	48,51	97,92	145,53	174,636

Die Grunddüngung blieb dieselbe wie im vorhergehenden Jahre:

K_2SO_4 . . . 2,00
NH_2PO_4 . . 2,00
NH_4NO_3 . . 3,00
Fe_2Cl_3 . . Spuren
} pro 10 kg Sand.

Diese Düngung wurde vor der Saat auf jeden Topf in verdünnter Lösung aufgegossen, mit Ausnahme der Stickstoffdüngung, die in drei Gaben auf die Vegetationszeit verteilt wurde, und zwar der erste Teil v o r, der zweite w ä h r e n d und der dritte n a c h der Bestockung.

Die Saat erfolgte am selben Tag wie bei der Versuchsreihe mit Nitraten (27. April) und das Saatgut war die gleiche Sorte Weizen. Das Wachstum erfolgte ebenfalls ganz normal und üppig. Messungen und Beobachtungen wurden in derselben Weise und an gleichen Tagen angestellt wie bei Versuchsreihe I. Wegen des sehr feuchten und kalten Jahrganges war das Wachstum auch etwas verlangsamt und die Pflanzen litten ebenso wie bei den Nitrat-Versuchen unter Mehltau, erholten sich aber gut und wuchsen, wie die nebenstehende Kurve zeigt, üppig weiter.

Wenn wir diese Kurven betrachten, so macht sich vor allem die grosse Uebereinstimmung mit denen der zu gleicher Zeit angesetzten Versuche mit Ca- und Mg-Nitraten bemerkbar. Bei diesen ist auch das Wachstum der Pflanzen bei dem Kalkfaktor 1 : 1 weitaus das beste; im Anfangsstadium laufen die Kurven dicht nebeneinander und breiten sich allmählich aus, um wie bei der anderen

Höhenmessungen von Weizen unter dem Einfluss von verschiedenen CaO-MgO-Verhältnissen bei verschiedenen Wachstumsperioden. (Ca-Mg Carbonat).

Datum der Messung:		27. Mai	7. Juni	23. Juni	3. Juli	13. Juli	26. Juli	6. Aug.	17. Aug.	27. Aug.	12. Sept.
Gruppe A $\frac{9}{1} = \frac{CaO}{MgO}$	Serie XXIII	196	306	496	562	730	838	760	884	880	888
	„ XXIV	205	318	492	557	660	820	820	936	938	944
	„ XXV	158	280	450	506	660	754	938	778	792	801
	Mittel	**186**	**301**	**479**	**541**	**683**	**804**	**839**	**866**	**870**	**877**
Nach der Formel $\sqrt{\frac{[v]^2}{n(n-1)}}$ ausgerechnete mittlere Fehler		14,40	11,22	14,71	17,90	23,34	25,54	52,29	46,50	42,44	41,61
Gruppe B $\frac{3}{1} = \frac{CaO}{MgO}$	Serie XXIII	192	334	502	550	742	840	876	836	850	864
	„ XXIV	191	316	496	541	680	804	821	880	904	908
	„ XXV	194	335	490	602	750	854	858	892	902	902
	Mittel	**192**	**328**	**496**	**564**	**724**	**832**	**851**	**869**	**885**	**891**
Nach der Formel $\sqrt{\frac{[v]^2}{n(n-1)}}$ ausgerechnete mittlere Fehler		0,91	6,17	3,46	19,01	22,12	14,90	16,20	17,02	17,68	13,78
Gruppe C $\frac{1}{1} = \frac{CaO}{MgO}$	Serie XXIII	211	352	542	644	810	848	918	964	966	968
	„ XXIV	206	338	560	638	764	918	961	928	928	938
	„ XXV	213	356	560	635	806	908	875	912	930	932
	Mittel	**210**	**348**	**554**	**639**	**793**	**891**	**918**	**934**	**941**	**946**
Nach der Formel $\sqrt{\frac{[v]^2}{n(n-1)}}$ ausgerechnete mittlere Fehler		2,07	5,47	6,00	2,64	14,70	21,80	17,55	15,38	12,35	11,14
Gruppe D $\frac{1}{3}$	Serie XXIII	199	306	504	608	748	904	858	922	928	932
	„ XXIV	205	316	490	581	700	818	925	878	882	890
	„ XXV	210	298	506	580	750	814	825	880	890	898
	Mittel	**204**	**306**	**500**	**591**	**732**	**845**	**869**	**893**	**900**	**906**
Nach der Formel $\sqrt{\frac{[v]^2}{n(n-1)}}$ ausgerechnete mittlere Fehler		3,21	5,22	5,03	8,30	16,35	29,36	29,42	14,35	14,19	13,54
Gruppe E $\frac{1}{9}$	Serie XXIII	190	306	486	586	710	862	856	946	950	948
	„ XXIV	195	320	480	555	618	812	939	854	856	862
	„ XXV	158	280	420	484	566	734	733	868	872	886
	Mittel	**181**	**302**	**462**	**541**	**631**	**802**	**842**	**889**	**892**	**898**
Nach der Formel $\sqrt{\frac{[v]^2}{n(n-1)}}$ ausgerechnete mittlere Fehler		11,59	11,72	21,07	30,20	42,10	37,25	59,84	28,62	29,04	25,63

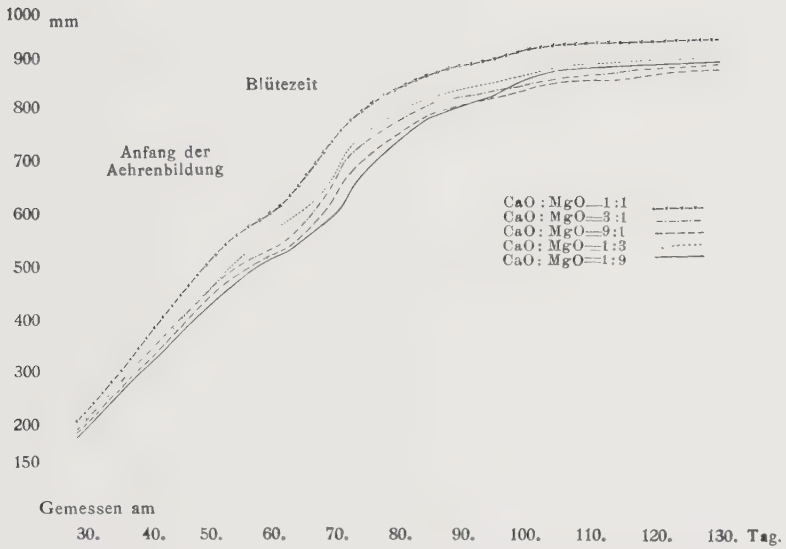


Fig. 11. Wachstumskurven der Versuche mit Weizen mit Kalk u. Magnesia als Karbonate in den Verhältnissen 1 : 1, 3 : 1, 9 : 1, 1 : 3, 1 : 9.

Versuchsreihe zur Zeit der Blüte weitestens auseinanderzugehen. Später, gegen die Reife hin, laufen sie wieder enger nebeneinander her. Sehr interessant sind auch hier die zwei Kurven der Kalküberschüsse, die anfangs über denen mit Magnesiaüberschuss nahe der Optimalkurve und bei der Reife der Körner ganz unten laufen, unter denen mit Magnesiaüberschuss sogar, was deutlich zeigt, dass ein Magnesiaüberschuss in vorgerückter Wachstumsperiode bis zu einem gewissen Grad günstiger als derselbe Kalküberschuss ist.

Es wurde nun hier auch wie beim Nitratversuch (S. 55) die mittlere Fehlergrenze berechnet und diese fand sich allerdings etwas grösser wie beim anderen Versuch. Eigentümlich scheint es uns, dass sie bei einem ungünstigen Kalkfaktor bedeutend grösser ist als beim Verhältnis 1 : 1, wo die Schwankungen ganz bedeutend geringer sind. Ein grosser Teil dieser Schwankungen ist sicherlich auch anderen Umständen wie Brand und Mehltau zuzuschrei-

ben, und dadurch werden auch die Unterschiede etwas weniger deutlich bei der rechnerischen Prüfung.

Die Pflanzen wurden ebenfalls öfter photographiert. Die erste Aufnahme erfolgte am 9. Juni, wo die Pflanzen noch klein waren, aber die Unterschiede sich schon besonders durch deutliche Depression beim Magnesiaüberschuss (Verhältnis 1:9) bemerkbar machten:

Fig. 12.

Gruppe E 1:9 D 1:3 C 1:1 B 3:1 A 9:1 CaO:MgO

Sandkulturen mit Weizen (Kalk und Magnesia als Karbonat)

Nach dem Austritt der Aehren während des Schossens am 26. Juli wurde die eine der drei Parallelserien wieder photographiert (siehe Fig. 13)
und nach einiger Zeit, am 7. August, als angenommen werden konnte, dass das Wachstum fast beendet war, nochmals (siehe Fig. 14).

Hier sind die Pflanzen, trotzdem bei Topf C fünf Aehren mit Brand befallen waren, doch weit grösser und üppiger als alle andern, was gegen die Extreme der Kalkmagnesiaverhältnisse zu abnimmt.

Fig. 13. Gruppe A 9:1 B 3:1 C 1:1 D 1:3 E 1:9 CaO:MgO
Sandkulturen mit Weizen (Kalk u. Magnesia als Karbonat) [26. Juli]

Fig. 14. Gruppe A 9:1 B 3:1 C 1:1 D 1:3 E 1:9 CaO:MgO
Sandkulturen mit Weizen (Kalk u. Magnesia als Karbonat) [7. August]

Gegen Ende der Vegetation wurde, wie bei den Nitraten, wieder ein Geringerwerden der Unterschiede bemerkt. Anfangs September fing die Reife an einzutreten, bei C und B zuerst, und am 20. September waren alle Pflanzen reif. In diesem Zustand wurden sie vor der Ernte nochmals photographiert.

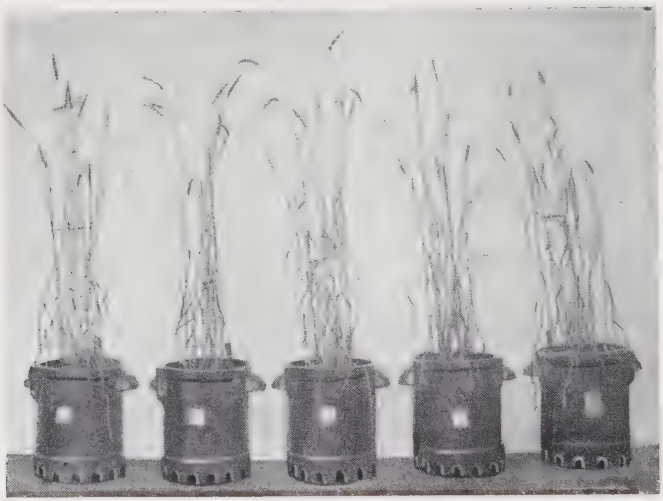


Fig. 15.

Gruppe A 9:1 B 3:1 C 1:1 D 1:3 E 1:9 CaO:MgO
Sandkulturen mit Weizen (Kalk und Magnesia als Karbonat)

Hier haben sich die Unterschiede etwas besser wie bei den gleichzeitigen Versuchen mit Ca- und Mg-Nitrat gehalten, vielleicht, weil hier die Kalk- und die Magnesiamengen nicht so leicht hinuntergeschwemmt werden konnten, die Höhen sind aber trotzdem bedeutend gleichmässiger geworden wie früher. Die Aehren zeigen sich aber schon auf dem Bilde ganz anders, bei den Töpfen C und B neigen sie sich unter dem Gewicht der Körner, während sie bei den Töpfen mit Ca- und besonders mit Mg-Ueberschuss mehr aufrecht stehen. Die Ernte wurde wie für die Nitrate, die am 27. September begonnen, und ihre Verarbeitung genau in derselben Art ausgeführt.

Aus den Tabellen ersehen wir vor allem eine deutliche Uebereinstimmung mit den anderen Versuchen. Auch hier ist beim richtigen Kalkfaktor eine sehr grosse Steigerung des Ertrags vorhanden. Die Gesamternte an Stroh, Körnern und Wurzeln zeigt bei 1 : 1 einen Mehrertrag von 65% gegenüber den Verhältnissen von 9 : 1 oder 1 : 9. Hier zeigt sich auch, dass das Stroh viel weniger Unterschiede zeigt, und dass diese meistens in den Körnern und Wurzeln auftreten. Die Produktion nimmt von 1 : 1 aus nach beiden Seiten hin ab, ob mit bestimmten Unterschieden in den einzelnen Gruppen, darüber lassen sich den hierin etwas schwankenden Zahlen sichere Schlüsse nicht entnehmen. Dagegen sind auf Seiten des Magnesiaüberschusses die Aehrengewichte, teilweise (bei 1 : 3) auch die Körnergewichte grösser als auf Seiten des Kalküberschusses. *)

Eine ganz kurze Uebersicht der mittleren Ernte mag hier den grösseren Tabellen vorausgehen:

CaO : MgO-Verhältnis	Totalernte	Körnerernte
9 : 1	36,993	11,917
3 : 1	40,590	14,218
1 : 1	56,106	21,495
1 : 3	40,465	13,993
1 : 9	39,755	11,795

*) Dieses Resultat ist nun ziemlich dasselbe wie bei dem Versuch mit Nitrat, wo allerdings CaO : MgO wie 20 : 1 oder 1 : 20 gegen 1 : 1 stand. Dass die Verminderung der Ernte bei wachsender Ungunst des Kalkfaktors nicht in gleichem Mass fortschreitet, erinnert an das Fechner-Webersche Gesetz, wonach bei Reizvorgängen die Empfindlichkeit der Pflanze bei vorangegangener Reizwirkung vermindert wird.

Zusammenstellung der Ernteresultate

von Versuchen aus dem Jahre 1910 mit Weizen mit Ca- und Mg-Karbonat.

Gruppe A $CaO : MgO = 9 : 1$

	Serie XXIII Ernte pro Topf	Serie XXIII Ernte pro Pflanze	Serie XXIV Ernte pro Topf	Serie XXIV Ernte pro Pflanze	Serie XXV Ernte pro Topf	Serie XXV Ernte pro Pflanze	Mittel Ernte pro Topf	Mittel Ernte pro Pflanze
1. Gesamternte	33,6755	6,7351	40,8005	8,1601	36,5050	7,3010	36,9936	7,3987
2. Zahl der Halme	17	ca. 3	24	ca. 5	24	ca. 5	ca. 21	ca. 4
3. Zahl der Aehren	14	ca. 2	12	ca. 2	17	ca. 3	ca. 14	ca. 2
4. Gewicht der Wurzeln	7,1255	1,4251	5,5255	1,1050	6,7550	1,350	6,4686	1,2937
5. Gew. d. Halme m. Blätter (Strohgew.)	17,700	3,540	17,250	3,450	17,600	3,520	17,316	3,465
6. Gewicht der Halme ohne Blätter	8,250	1,650	7,250	1,450	9,015	1,803	8,171	1,634
7. Länge der Halme (im Mittel)	702,8	—	728,5	—	615,5	—	682,1	—
8. Dicke der Halme (am II. Internod.)	2,55	—	2,46	—	2,17	—	2,39	—
9. Länge der Aehren (mm)	711	—	756	—	672	—	713	—
10 Gewicht der Aehren (g)	8,850	1,770	18,025	3,605	12,150	2,430	13,008	2,6016
11. Körnerzahl (in jedem Topf u. Aehre)	290		317		282	—	296	—
12. Körnergewicht (g)	11,11662	2,223	13,1009	2,600	11,534	2,306	11,917	2,383
13. Gewicht von 100 Körnern	8,8333	—	4,1009	—	4,090	—	4,0080	—

Zusammenstellung der Ernteresultate

von Versuchen aus dem Jahre 1910 mit Weizen mit Ca- und Mg-Karbonat.

Gruppe B $CaO : MgO = 3 : 1$

	Serie XXIII Ernte pro		Serie XXIV Ernte pro		Serie XXV Ernte pro		Mittel Ernte pro	
	Topf	Pflanze	Topf	Pflanze	Topf	Pflanze	Topf	Pflanze
1. Gesamternte	37,5950	7,5191	42,9304	8,5860	41,2450	8,249	40,5900	8,1180
2. Zahl der Halme	17	ca. 3	21	ca. 4	19	ca. 4	19	ca. 4
3. Zahl der Aehren	11	ca. 2	12	ca. 2	14	ca. 2	ca. 12	ca. 2
4. Gewicht der Wurzeln	9,2455	1,8491	7,7554	1,5510	7,8750	1,575	8,2919	1,6583
5. Gew. d. Halme m. Blätter (Strohgew.)	17,850	3,570	17,320	3,464	19,070	3,819	18,080	3,616
6. Gewicht der Halme ohne Blätter	10,005	2,001	7,725	1,545	8,700	1,740	8,810	1,762
7. Länge der Halme (im Mittel)	747,7	—	713,7	—	679,6	—	713,6	—
8. Dicke der Halme (am II. Internod.)	2,47	—	2,57	—	2,47	—	2,50	—
9. Länge der Aehren (mm)	756	—	743	—	700	—	733	—
10. Gewicht der Aehren (g)	10,500	2,100	17,855	3,571	14,300	2,860	14,218	2,843
11. Körnerzahl (in jedem Topf u. Aehre)	271	—	306	—	240	—	272	—
12. Körnergewicht (g)	11,2447	2,2489	13,320	2,664	9,5344	1,9068	11,366	2,2732
13. Gewicht von 100 Körnern	4,149	—	4,352	—	3,970	—	4,124	—

Zusammenstellung der Ernteresultate

von Versuchen aus dem Jahre 1910 mit Weizen mit Ca- und Mg-Karbonat.

Gruppe C $CaO : MgO = 1 : 1$

	Serie XXIII Ernte pro		Serie XXIV Ernte pro		Serie XXV Ernte pro		Mittel Ernte pro	
	Topf	Pflanze	Topf	Pflanze	Topf	Pflanze	Topf	Pflanze
1. Gesamternte	55,9403	11,1880	54,4755	10,8951	57,9025	11,5805	56,1060	11,2212
2. Zahl der Halme	26	ca. 5	32	ca. 6	29	ca. 6	29	ca. 6
3. Zahl der Aehren	14	ca. 3	16	ca. 3	15	3	15	3
4. Gewicht der Wurzeln	11,0455	2,2091	11,2505	2,2501	15,9525	3,1905	12,7495	2,5499
5. Gew. d. Halme m. Blätter (Strohgew.)	21,600	4,3200	25,475	5,095	24,925	4,985	23,800	4,760
6. Gewicht der Halme ohne Blätter	11,250	2,2500	13,700	2,740	11,900	2,380	12,283	2,456
7. Länge der Halme (im Mittel)	789,2	—	726,2	—	682	—	732,4	—
8. Dicke der Halme (am II. Internod.)	2,62	—	2,62	—	2,56	—	2,60	—
9. Länge der Aehren (mm)	817	—	763	—	727	—	769	—
10. Gewicht der Aehren (g)	23,295	4,659	21,395	4,279	17,025	3,405	20,571	4,114
11. Körnerzahl (in jedem Topf u. Aehre)	412	—	490	—	377	—	426	—
12. Körnergewicht (g)	21,5051	4,3010	24,5000	4,9000	18,482	3,696	21,4957	4,2991
13. Gewicht von 100 Körnern	5,2190	—	5,000	—	4,9000	—	5,0396	—

Zusammenstellung der Ernteresultate

von Versuchen aus dem Jahre 1910 mit Weizen mit Ca- und Mg-Karbonat.

Gruppe D $CaO : MgO = 1 : 3$

	Serie XXIII Ernte pro		Serie XXIV Ernte pro		Serie XXV Ernte pro		Mittel Ernte pro	
	Topf	Pflanze	Topf	Pflanze	Topf	Pflanze	Topf	Pflanze
1. Gesamternte	39,420	7,8840	40,5025	8,1005	41,4750	8,295	40,4658	8,0931
2. Zahl der Halme	17	ca. 3	18	ca. 3	20	4	ca. 18	ca. 4
3. Zahl der Aehren	12	ca. 2	12	ca. 2	13	ca. 3	ca. 12	ca. 2
4. Gewicht der Wurzeln	6,1750	1.2350	8.1825	1,6365	7,2750	1.455	7,2008	1,4401
5. Gew. d. Halme m. Blätter (Strohgew.)	17,100	3,420	16,000	3,200	16,410	3,290	16,516	3,303
6. Gewicht der Halme ohne Blätter .	7,875	1,575	7,350	1,470	8,250	1,650	7,825	1,565
7. Länge der Halme (im Mittel) . .	708,0	—	712,0	—	725,3	—	715,1	—
8. Dicke der Halme (am II. Internod.)	2,50	—	2,38	—	2,56	—	2,48	—
9. Länge der Aehren (mm)	692	—	742	—	725	—	719	—
10. Gewicht der Aehren (g)	16,150	3,230	16,350	3,270	17,750	3,550	16,750	3,350
11. Körnerzahl (in jedem Topf u. Aehre)	228	—	338	—	311	—	292	—
12. Körnergewicht (g)	13,6112	2,722	14,842	2,9685	13,525	2,705	13,9927	2,7985
13. Gewicht von 100 Körnern . . .	5,1750	—	4,3910	—	4,3480	—	4,6380	—

Zusammenstellung der Ernteresultate*)

von Versuchen aus dem Jahre 1910 mit Weizen mit Ca- und Mg-Karbonat.

Gruppe E $CaO : MgO = 1 : 9$

	Serie XXIII Ernte pro Topf	Serie XXIII Ernte pro Pflanze	Serie XXIV Ernte pro Topf	Serie XXIV Ernte pro Pflanze	Serie XXV Ernte pro Topf	Serie XXV Ernte pro Pflanze	Mittel Ernte pro Topf	Mittel Ernte pro Pflanze
1. Gesamternte	40,4752	8,0950	31,1250	6,225	47,7250	9,5450	39,7550	7,9510
2. Zahl der Halme	20	4	18	ca. 3	22	ca. 4	20	4
3. Zahl der Aehren	11	ca. 2	10	2	13	ca. 2	ca. 11	ca. 2
4. Gewicht der Wruzeln	4,9852	0,9970	4,5250	0,905	7,1750	1,435	5,5614	1,1122
5. Gew. d. Halme m. Blätter (Strohgew.)	17,350	3,470	15,900	3,180	18,900	3,780	17,383	3,476
6. Gewicht der Halme ohne Blätter .	7,600	1,520	7,450	1,490	9,250	1,850	8,100	1,620
7. Länge der Halme (im Mittel) . .	726,3	—	679,0	—	728,4	—	711,2	—
8. Dicke der Halme (am II. Internod.)	2,74	—	2,67	—	2,80	—	2,70	—
9. Länge der Aehren (mm)	756	—	672	—	780	—	736	—
10. Gewicht der Aehren (g)	18,140	3,628	10,700	2,140	21,650	4,330	16,830	3,366
11. Körnerzahl (in jedem Topf u. Aehre)	309	—	216	—	374	—	299	—
12. Körnergewicht (g)	12,800	2,500	8,1364	1,6273	14,950	2,990	11,9621	2,3924
13. Gewicht von 100 Körnern . . .	4,1420	—	3,7800	—	3,9970	—	3,9730	—

*) Die 15 Einzeltabellen wurden der Einfachheit halber beim Druck weggelassen.

C. Wasserkulturen mit Gerste.

Im Winter und Frühjahr 1909/10 wurde auch eine Anzahl Wasserkulturen mit Gerste angelegt. Wie schon früher erwähnt, hatte ich es zur vollständigen Prüfung dieses pflanzenphysiologischen Gesetzes für notwendig befunden, dasselbe in diesen beiden gegen Störungen geschützten Kulturmethoden zu erproben und so die Wirkung in beiden Medien zu vergleichen.

Da sich in Wasserkulturen die Wurzeln der Pflanzen in fortwährendem nächsten Kontakt mit allen Nährstoffen befinden, muss natürlich die Wirkung der einzelnen Salze auch viel deutlicher hervortreten, wie bei allen anderen Kulturmethoden. Jede günstige oder ungünstige Lebens- oder Ernährungsbedingung kommt auch viel energischer, sowohl im ganzen Bau der Pflanze wie in ihren einzelnen Teilen, zum Vorschein, und so war zu erwarten, dass bei Wasserkulturen die charakteristischen Erscheinungen und Veränderungen der Pflanzen in ihren verschiedenen Teilen unter dem Einflusse verschiedener CaO : MgO-Verhältnisse am besten wahrzunehmen sein werden.

Deshalb war auch ein weiterer Zweck dieser Wasserkulturen, Material für die im zweiten Teil beschriebenen speziellen Untersuchungen, namentlich der Wurzeln und ihrer Behaarung, zu liefern.

Die Beobachtungen über das allgemeine Verhalten der Pflanzen während der ganzen Vegetationszeit, sowie die Art der Versuchsanstellung sollen hier kurz beschrieben werden.

Diese Versuche wurden in den Glashäusern des Botanischen Instituts der K. Technischen Hochschule ausgeführt.

Die CaO-MgO-Mengen wurden in zwei Verbindungsformen gegeben:

1. als Nitrate,
2. als Sulfate.

Von diesen Versuchen mit den beiderlei Salzen wurden mehrere Reihen zu verschiedenen Zeiten angestellt, von welchen eine jede 3—4 Parallelserien enthielt. Die Gefässe waren mittelgrosse zylindrische Glasstutzen von 17 cm Höhe und 8—9 cm Durchmesser, die durchschnittlich $^3/_4$—1 Liter Nährlösung fassten. Sie wurden besserer Handlichkeit halber und wegen der beschränkten Räumlichkeitsverhältnisse in den Gewächshäusern des Botanischen Instituts nicht zu gross gewählt und deshalb, sowie um jeder Aenderung der Konzentration der Nährlösung vorzubeugen, wurden die Lösungen alle 10—15 Tage erneuert.

Bei den meisten Parallelserien war in jedem Gefäss eine Pflanze vorhanden, nur in einzelnen wurden zwei oder drei Pflanzen pro Glas gezogen. Die Töpfe wurden zum Lichtschutz aussen mit dickem, dunklem Papier bekleidet und mit gut eingepassten, grossen Korken verschlossen. Diese waren vorher lang ausgekocht, danach wurden durch ein kochendes Paraffinbad alle Poren verstopft. In der Mitte wurde mittelst Watte (in der für Wasserkulturen üblichen Weise) je ein genau sortiertes, auf Filtrierpapier vorgekeimtes Gerstenkorn gepflanzt. Bei einigen Versuchen wurden zur besseren Beobachtung der Wurzeln die kleinen Pflänzchen in den ersten Stadien der Vegetation in mittelgrosse Erlenmeyerkolben aufgezogen und erst später in grosse Gefässe gesetzt.

In der kältesten Periode des Winters wurden die Kulturen im Warmhaus bei ca. 18° gehalten, im Frühjahr wurden sie ins Kalthaus gestellt, wo sie bis zum Abbruch des Gebäudes (August 1910) standen.

Als Nährsalze wurden nur die reinsten Reagentien angewendet. Wo nötig erscheinend wurde noch die Reinheit und der Wassergehalt geprüft. Das verwendete Wasser war natürlich ausschliesslich destilliertes.

I. Versuchsreihe mit Ca- und Mg-Nitrat.

Bei diesen Wasserkulturen wurden die Verhältnisse möglichst ähnlich mit den gleichartigen Sandkulturen, die mit Roggen im Jahre 1909 ausgeführt worden waren, gestaltet, so dass diese Versuchsreihe als Kontrolle der andern dienen konnte.

Es wurden ebenfalls drei Gruppen mit verschiedenen Verhältnissen CaO : MgO gebildet: Gruppe A 20 : 1, Gruppe B 1 : 1 und C 1 : 20, und von beiden Nitraten wurden dieselben absoluten Mengen genommen, wie bei den erwähnten Sandkulturen, nur statt für 1 Kilo Sand jetzt für 1 Liter Wasser berechnet. Die Summe beider Nitrate in Molekülen musste überall gleich 21 bleiben:

	Gruppe A 20 : 1	B 1 : 1	C 1 : 20
$Ca(NO_3)_2$	20 Mol. . 0,3280,	10,5 Mol. . 0,1720,	1 Mol. . 0,0164
$Mg(NO_3)_2$	1 „ . 0,0148,	10,5 „ . 0,1550,	20 „ . 0,2960

Nach der Bestimmung des Wassergehaltes in den beiden Salzen wurde, da die Werte in wasserfreier Substanz 76,21% und 57,48% betrugen, die obigen Mengen wie folgt korrigiert:

Gruppe	A	B	C
$Ca(NO_3)_2$	0,4303 g	0,2256 g	0,0212 g
$Mg(NO_3)_2$	0,0256	0,2696	0,5671

Ausserdem erhielt die Nährlösung folgende Grunddüngung:

K_2SO_4	0,20
$FeSO_4$	0,05
NaCl	0,05
KH_2PO_4	0,20

Für den ersten Versuch von diesen drei Gruppen wurden je vier Parallelserien (Serie VII, VIII, IX und X) am 17. Dezember 1909 bestimmt, wobei genau gleiche, gut sortierte, bis auf 3—4 kleine

Wurzeln vorgekeimte Gerstenpflänzchen eingesetzt wurden. Die Pflanzen wuchsen gesund auf, fingen aber später im Januar an (wegen schlechter Beleuchtung sowie vielleicht durch Unreinigkeiten der Korke, die dieses erste Mal nicht genügend paraffiniert waren), etwas zu kränkeln und zurückzubleiben, so dass, da ein normales, gesundes Material Vorbedingung ist, ein neuer Versuch anzustellen war. Dieser zweite Versuch wurde am 25. Januar begonnen, ebenfalls mit 4 Parallelserien (Serie XIII, XIV, XV und XVI), die diesmal, nebst 3 Parallelserien des I. Versuches, die sich später wieder erholten, gesund und üppig weiterwuchsen. Später, am 15. März, wurde noch ein dritter Versuch (Serie XXII) in genau derselben Weise angestellt, der noch einige Punkte aufklären sollte. Die Pflanzen aller dieser Versuchsreihen wurden alle 10—15 Tage einzeln gemessen, und die Höhen in die Tabellen eingetragen. Die Messungen erfolgten stets bis zur Spitze des längsten Blattes, eine Verminderung in den Höhen auf der Tabelle deutet also auf ein Absterben der Blätter und Kränkeln der Pflanze. Den allgemeinen Mittelzahlen jedes Versuches entsprechend wurden dann die folgenden Wachstumskurven gezeichnet, die uns ein deutliches Bild der allgemeinen Entwicklung der Pflanzen unter verschiedenen CaO : MgO-Verhältnissen in Wasserkulturen geben.

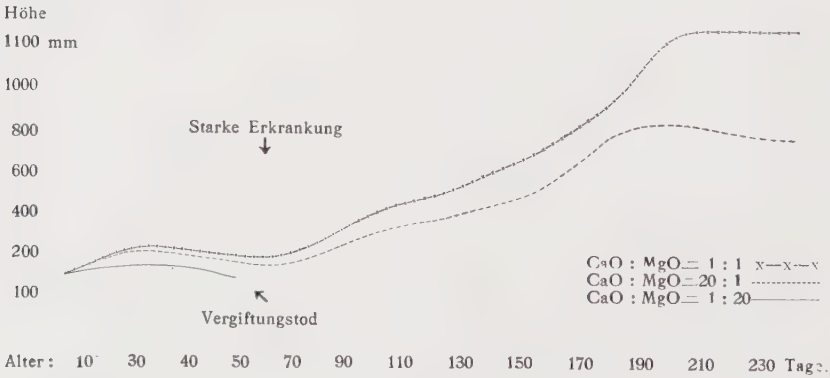


Fig. 16. Wachstumskurve der Mittelhöhen von Serie VIII, IX u. X. I. Versuch mit Nitrat (Wasserkulturen).

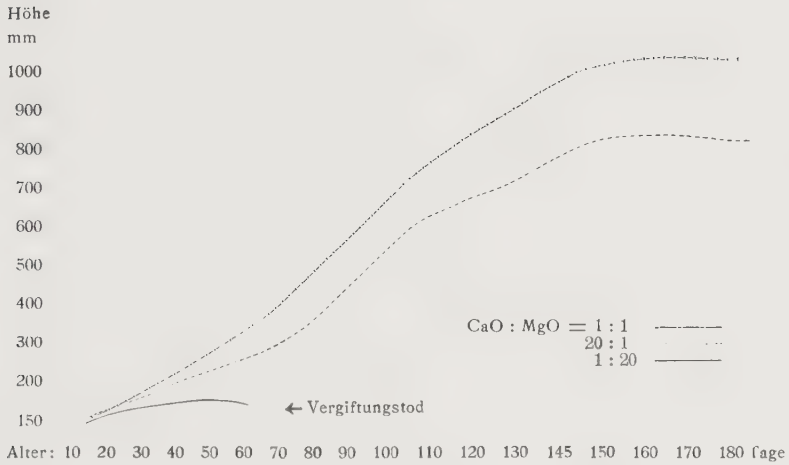


Fig. 17. Wachstumskurve der Mittelhöhen der Serien XIII, XIV, XV u. XVI
(II. Wasserkultur mit Nitrat)

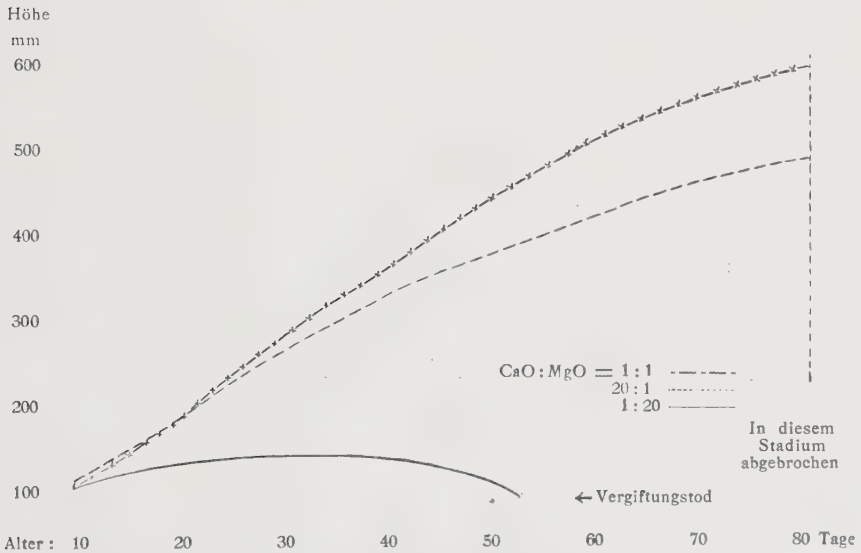


Fig. 18. Wachstumskurve von Serie XXII
(III. Wasserkultur mit Nitrat)

Höhenmessungen von Gerste in Wasserkulturen mit Ca- und Mg-Nitrat.

	Serie VII	Serie VIII	Serie IX	Serie X	Serie XIII	Serie XIV	Serie XV	Serie XVI	Serie XXII	Mittel des I. Vers.	Mittel des II. Vers.	Mittel des III. Vers.	Allgem. Mittel
Gruppe A [CaO : MgO = 20 : 1]	120	165	200	155	177	168	162	163	—	176.6	167.50	—	172.00
	erkr.	135	90	130	204	200	198	207	—	118,0	202,20	—	160.10
	kass.	450	282	225	450	475	510	kass.	230	316,0	462,50	230	385,20
	—	550	360	340	570	700	kass.	—	375	416,0	635,00	375	482,50
	—	720	570	630	695	780	—	—	480	640,0	722,00	480	614,00
	—	kass.	680	750	790	850	—	—	kass.	715 0	820,00	—	688,00
	—	—	670	620	920	620	—	—	—	645.0	770,00	—	707,50
			(erkrankt)										
Gruppe B [CaO : MgO = 1 : 1	75	200	180	205	173	173	151	148	—	195,0	161,25	—	178,12
	erkr.	145	142	160	201	207	198	181	—	149.0	196,70	—	172,80
	kass.	515	360	385	475	520	375	kass.	235	416,0	497.00	235	415,00
	—	630	480	580	820	720	kass.	—	460	563,0	770,00	460	615,00
	—	820	750	760	980	850	—	—	580	776.0	915.00	580	757,00
	—	kass.	990	1130	1070	1000	—	—	kass.	1060,0	1035,00	—	1047,00
	—	—	1000	1170	1000	910	—	—	—	1095 0	1005,00	—	1050,00
Gruppe C [CaO : MgO = 1 : 20]	110	130	110	125	164	167	148	145	—	121,6	156,00	—	138,8
	abgestorb. d. MgO-Vergift.				187	201	151	80	—	—	154,30	—	154,3
	—	—	—	—	abgestorben			—	115	—	—	115	115,0

Vor allem war es eine Erscheinung, die durch ihr regelmässiges Auftreten bei jedem der drei Versuche die Aufmerksamkeit erweckte: nämlich der Tod aller Pflanzen der Gruppe *C* mit 20fachem MgO-Ueberschuss, der in allen Serien und Versuchen zwischen dem 50. und 60. Tag eintrat.

Wie aus der Kurve ebenfalls ersichtlich ist, wuchsen die Pflanzen erst heran, blieben aber bald immer mehr zurück und schliesslich in der Entwicklung ganz stehen, die Spitzen der Blätter wurden gelb und trockneten fadenförmig und oft spiralig gewunden zusammen, bis schliesslich die ganze Pflanze langsam zugrunde ging. Diese immer wieder auftretende Erscheinung führte mich zum Schlusse, dass das Verhältnis CaO : MgO wie 1 : 20 in Wasserkulturen tödlich sei. Gerade zu dieser Zeit veröffentlichte Hansteen[19]) Versuche, die in dieser Richtung eine Bestätigung meiner Annahme waren.

Bei Kalküberschuss konnte nirgends eine solche schädliche Wirkung beobachtet werden; bei einigen Serien stand diese Gruppe in den allerersten Stadien sogar am

Fig. 19. Gruppe C 1:20 Gruppe B 1:1 Gruppe A 20:1 CaO:MgO

Erste Wasserkultur mit Gerste (Kalk und Magnesia als Nitrat).

[19]) Jahrb. f. wiss. Botanik XLVII, Heft 3 p. 280.

günstigsten (wegen des hohen Mg-Gehaltes des Kornes), wurde aber bald von der Gruppe B mit 1 : 1 übertroffen, und diese Unterschiede zeigten sich immer deutlicher.

Fig. 20. Gruppe C 1:20 Gruppe B 1:1 Gruppe A 20:1 CaO:MgO
Zweite Wasserkultur mit Gerste.

Fig. 21. 1:20 1:1 20:1 CaO:MgO
Dritte Wasserkultur mit Gerste.

Einige Photographien, die vor und nach dem Absterben der Pflanzen der Gruppe C gemacht wurden, möchten wir hier beifügen.

Diese Unterschiede in der Höhe und allgemeinen Entwicklung der Pflanzen, die, wie aus diesen Bildern sowie

aus den Messungen und Kurven sichtbar ist, am Anfang ganz gering sind (besonders zwischen 1 : 1 und 20 : 1 CaO : MgO), werden mit der Zeit immer grösser, um schliesslich gegen das Ende der Vegetation bei der Aehrenbildung das folgende Bild zu geben:

Fig. 22. Gruppe B (1 : 1) Gruppe A (20 : 1)
Wasserkultur mit Gerste (Kalk und Magnesia als Nitrat)

Wegen des äusserst feuchten, trüben Sommers 1910 wurden leider alle Wasserkulturen in diesem Stadium, als sich gerade die ersten Anschwellungen der Fruchtknoten zeigten (und zwar nur bei den Pflanzen der Gruppe B [1 : 1]), von Erysiphe graminis so stark befallen, dass die Pflanzen so geerntet werden mussten, zumal, da um diese Zeit auch der Abbruch der Gewächshäuser begonnen wurde.

Die nächste Tabelle zeigt das Resultat der letzten Messungen bei der Ernte.

Tabelle der Ernteresultate

der Wasserkulturen mit Ca- und Mg-Nitrat.

	Gruppe	Zahl der Halme	Einzelne Länge der Halme	Summe	Mittel-Länge	Grösste Länge	Bemerkungen
Serie IX	A $\frac{20}{1}$ $\frac{CaO}{MgO}$	8	680 375 715 170 670 410 400 260	3675	459	715	Beide Gruppen haben n. der Mehltauerkrankung jetzt noch viele kleine Triebe entwickelt
	B $\frac{1}{1}$ „	15	120 460 500 440 1050 580 250 320 270 380 1100 450 670 700 280	7530	502	1035	
Serie X	A $\frac{20}{1}$ „	4	510 700 490 540	2240	560	700	
	B $\frac{1}{1}$ „	6	920 450 1180 400 700 600	4250	708,33	1180	
Serie XIII	A $\frac{20}{1}$ „	10	300 780 400 850 410 300 608 580 960 300	5488	548	970	
	B $\frac{1}{1}$ „	7	1115 1080 670 350 1070 570 1010	5870	838	1115	
Serie XIV	A $\frac{20}{1}$ „	5	500 570 550 650 250	2520	504	650	
	B $\frac{1}{1}$ „	2 (5 kl. Ha me)	870 430 440 180 1050 408 390	1920 (3760)	960 (547)	1050	Anomalie 5 neue Sprossen in der Aehre oder statt dieser

II. Versuchsreihe mit Ca- und Mg-Sulfat.

Im Jahre 1907 stellten Bernardini und Corso in Portici Wasserkulturen an, in denen die CaO- und MgO-Dosen als Sulfate gegeben wurden und welche äusserst interessante Resultate ergaben. Da aber diese Forscher ihre wertvollen Untersuchungen in der Hauptsache auf chemische Bestimmungen erstreckten, hielten wir es für wünschenswert, diese Versuche auch in pflanzenphysiologischer Hinsicht weiterzuführen und gleichzeitig die Wirkung grösserer Extreme zu probieren.

Es wurde deshalb eine ähnliche Anordnung wie bei den Bernardinischen Versuchen getroffen, mit dem einzigen Unterschied, dass hier als größte Extreme 10:1 resp. 1:10 (statt 3:1 wie bei Bernardini) genommen wurden.

Gefässe, Saatgut, Reagentien usw. waren genau die gleichen wie beim vorigen Versuch. Die Nährlösungen waren folgende:

1. Eine allgemeine Nährlösung, für alle Gruppen gleich, die den Kalk in Form von Sulfat (Gips) und zwar die äquivalente Menge von 0,162 g CaO % enthielt,

2. eine Menge von Magnesiumsulfat (Bittersalz), die in den Gruppen variierte.

Die allgemeine Nährlösung war:

Natriumnitrat	1,00 g	pro 1000 ccm Wasser
Kaliummonophosphat .	0,50	
Chlorkalium	0,25	
Calciumsulfat	0.50	
Eisenchlorid	Spur	

Die Magnesiumsulfatmengen wurden in folgender Weise variiert:

In einer Gruppe *B* wurde ein Verhältnis von CaO : MgO = 1:1 herbeigeführt, indem genau so viel (0,162) MgO gegeben wird, wie in der Nährlösung CaO vorhanden war. Diese Menge ist in 1 g $MgSO_4 + 7H_2O$ enthalten.

Für Gruppe *A* und *C* wurde um das Verhältnis 10 : 1 und 1 : 10 zu erreichen, das eine Mal 10fach mehr (10 g), das andere Mal 10fach weniger (0,1 g) genommen.

Am 7. März 1910 wurden die auf Filtrierpapier vorgekeimten und genau gleich sortierten Gerstenkeimlinge angesetzt. Es wurden drei Parallelserien gebildet, wovon in zwei je ein Korn pro Glas kam und in einer drei Körner pro Glas.

Die Pflanzen, die gleich ins Warmhaus gestellt wurden, wuchsen rasch und gesund auf und schon nach einer Woche traten merkliche Unterschiede in der Höhe und Ueppigkeit der Pflanzen auf, was auch in den Messungen deutlich hervortritt. Im Alter von 2 Wochen wurden 2 Serien photographiert, und das nebenstehende Bild zeigt, wie deutlich schon in diesem frühen Stadium die Unterschiede auftraten.

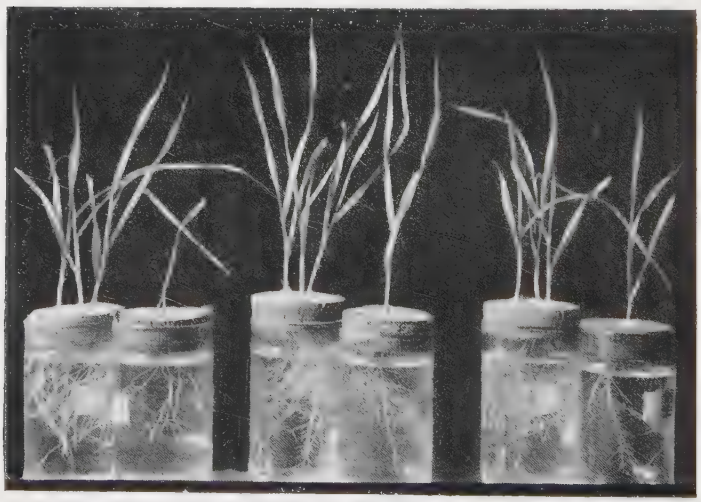


Fig. 23. Gruppe C (1 : 10) B (1 : 1) A (10 : 1) CaO : MgO
Wasserkultur mit Gerste und Ca- u. Mg-Sulfat.

Wie beim vorigen Versuch wurden auch hier alle Pflanzen einzeln öfters in Abständen von 8—10 Tagen gemessen und deren Maximallänge in die Tabellen eingetragen.

Höhenmessungen von Gerste in Wasserkulturen
mit Ca- und Mg.-Sulfat.

Gruppe A [CaO : MgO = 10 : 1]

	Serie XIX	Serie XX	Serie XXI (3 Pflanzen)			Mittel v. Ser. XXI	Allgem. Mittel
I. Messung .	242	178	246	255	262	254	224,5
II. Messung . .	500	440	390	440	290	373	412,0
III. Messung . .	550	550	460	450	360	423	474,0
IV. Messung . .	600	750	620	556	kass.	588	620,0
V. Messung . .	830	800	630	kass.	—	630	753,0

Gruppe B [CaO : MgO = 1 : 1]

I. Messung . .	261	252	259	278	271	267	260,0
II. Messung . .	520	530	480	440	390	433	462,0
III. Messung . .	570	650	470	550	380	466	524,0
IV. Messung . .	620	755	690	550	kass.	620	653,0
V. Messung . .	910	1050	870	kass.	—	870	943,9

Gruppe C [CaO : MgO = 1 : 10]

I. Messung . .	235	107	182	261	245	226	189,3
II. Messung . .	235	145	290	390	300	310	262,0
III. Messung . .	330	110	150	330	222	234	228,0
IV. Messung . .	360	165	kass.	320	210	265	263,0
V. Messung . .	350	185	—	250	kass.	250	261,0

Aus den Mittelzahlen aller dieser Messungen wurden folgende Wachstumskurven gezeichnet, die einen guten Ueberblick über die Entwicklung der Pflanzen geben.

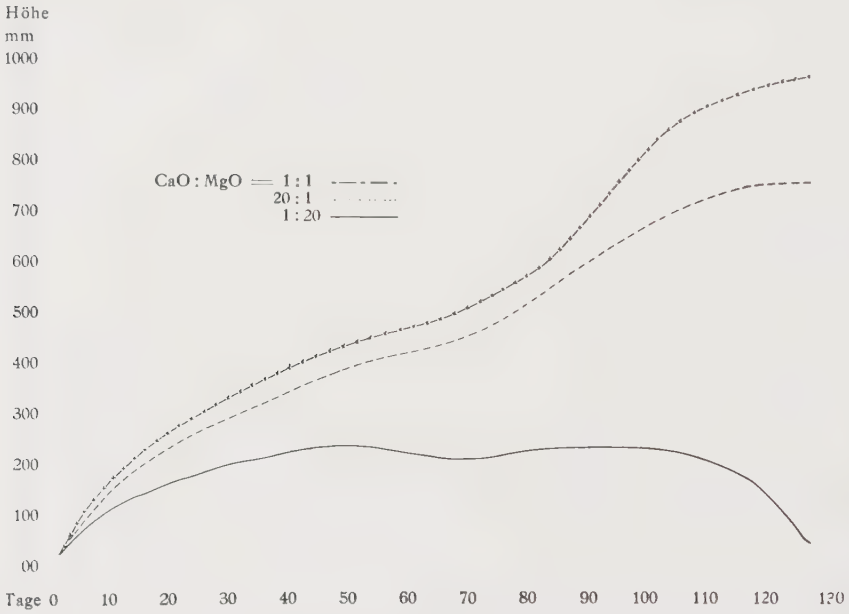


Fig. 24. Wachstumskurven der Serien XIX, XX und XXI (Wasserkulturen mit Ca-Mg-Sulfate)

Aus diesen Kurven ersehen wir vor allem eine grosse Uebereinstimmung mit den früheren Kurven: auch hier läuft die Wachstumskurve der Pflanzen mit dem richtigen Kalkfaktor (1 : 1) am höchsten, und unter dieser befindet sich die Kurve des Kalküberschusses, während die Kurve des MgO-Ueberschusses weit unten liegt. Hier aber, da der MgO-Ueberschuss nicht so gross ist wie bei dem Versuch mit Nitraten, trat auch der Tod nach 50 Tagen nicht ein, sondern es machte sich zu der Zeit ein Stillstand in der Weiterentwicklung bemerkbar. Die Pflanzen blieben ungefähr immer bei gleicher Höhe, die meisten Blätter fingen an in derselben charakteristischen Weise abzu-

sterben und von der Spitze an zu vertrocknen und sich spiralförmig aufzurollen; es traten oft neue Sprosse auf, die in derselben Weise zugrunde gingen, und am Schluss, als am 1. August der Versuch abgebrochen wurde, war kaum noch in einigen Pflanzen eine Spur von Leben vorhanden. Es scheint also, dass ein 10facher Ueberschuss

Fig. 25. Gruppe C (1:10) B (1:1) A (10:1)

Wasserkulturen mit Gerste und Ca- u. Mg-Sulfat.

der Magnesia über den Kalk in Wasserkulturen zwar nicht tödlich wie der 20fache ist, aber jede weitere Entwicklung ganz unmöglich macht.

Was die Unterschiede der Wirkungen des Kalküberschusses und des richtigen Kalkfaktors betrifft, so wurden sie, ähnlich wie bei den Nitratversuchen, mit dem Fortschritte der Vegetation immer deutlicher, wenn auch nicht so gross wie bei dem gleichen MgO-Ueberschuss.

Aus dem angegebenen Bilde, sowie aus beiliegenden Tabellen kann dieses Resultat genauer ersehen werden.

Tabelle der Ernteresultate

bei Wasserkulturen mit Gerste und Ca- u. Mg-Sulfat.

	Gruppe	Zahl d. Halme	Einzelne Länge der Halme	Summe	Mittel-Länge	Grösste Länge	Bemerkungen
Serie XIX	A CaO : MgO = 10 : 1	4	410 570 830 835	2645	661	835	
	B CaO : MgO = 1 : 1	9	910 305 350 1025 520 490 350 550 370	4870	541	1025	Wegen grosser Zahl von kleinen Trieben wird hier die Mittelzahl zu stark herunter gedrückt.
Serie XX	A CaO : MgO = 10 : 1	4	850 716 900 120	2580	645	900	
	B CaO : MgO = 1 : 1	2	1145 925	2070	1035	1145	
Serie XXI	A CaO : MgO = 10 : 1	2	740 680	1420	710	740	
	B CgO : MgO = 1 : 1	2	875 1050	1925	962	1050	
Allg. Mittel für Gruppe A (10 : 1)		3	—	—	672	825	
Allg. Mittel für Gruppe B (1 : 1)		4	—	—	846	1073	

II. Teil.

Spezielle Untersuchungen.

Den im I. Teil dargelegten allgemeinen Beobachtungen des Wachstums und der Entwicklung der Pflanze unter dem Einfluss der Ernährung mit CaO und MgO in verschiedenen Verhältnissen sollen im II. Teil die Mitteilungen der besonderen Beobachtungen an Zellen und an einzelnen Teilen des Pflanzenkörpers folgen. Davon waren es namentlich die Wurzeln, deren Veränderungen unter dem Einfluss der Ca-Mg-Ernährung eingehend studiert wurden, da diese die gesamte Entwicklung der Pflanzen hervorragend modifizieren musste.

Aus all diesen Untersuchungen konnten sich manche Erklärungen der Ergebnisse des I. Teils ableiten lassen und besonders war zu erwarten, dass die Beobachtungen an einzelnen Zellen Aufschlüsse würden verschaffen können.

Jedoch gestattete die Begrenzung des Umfanges dieser Arbeit nicht, diese Zellenstudien weit genug zu erstrecken. Es werden daher noch viele Lücken übrig bleiben, die durch weitere Forschungen auszufüllen sind.

Auch der Verfasser hofft gelegentlich einige dieser Fragen weiterzuführen.

I. Wirkung von Kalk und Magnesia auf die Zelle.

a) Versuche mit höheren Algen.

Wir sahen schon auf Seite 8 unserer Einleitung, wie Loew die Funktion des Kalkes und der Magnesia in der Zelle zu erklären versuchte. Entgegen Böhm, der die Hauptrolle des Kalkes in der Beteiligung beim Aufbau der Zellmembran erblickte, schrieb Loew dem Kalk eine äusserst wichtige Rolle beim Aufbau des Zellkerns zu. Die Versuche, die ihn zuerst daraufführten, waren die 1892 angefangenen und öfters wiederholten und ergänzten Experimente mit Fadenalgen (Spirogyra-Arten) und Zwiebeln, auf deren Ergebnisse wir einen kurzen Blick werfen wollen.[1])

Loew setzte Fäden von Spirogyra majuscula in 2%ige Lösung von Kaliumoxalat und beobachtete, dass schon nach 5 Minuten der Kern eine starke Kontraktion erfährt und sich samt seiner Kerntasche fadenförmig quer durch die Zelle zusammenzieht. Wenn aber statt dieses Salzes weinsaures oder schwefelsaures Kalium angewendet wurde, war keine solche Wirkung zu sehen. Deshalb kam er auch zum Schlusse, dass hier die Oxalsäure, deren ganz enorme Affinität für Kalk ja bekannt ist, den Kalk in dem Kerngerüst unlöslich mache und dadurch den Tod des

[1]) Flora (allg. Bot. Ztg.) 1892, 368; Bot. Zentralbl. Zentralbl. LXIII 1895, Ibid. LXXIV 1898; Flora 1903, 489, Ibid. 1905, 330 usw.

Kernes herbeiführe. Das Cytoplasma schien nicht durch Oxalate angegriffen zu sein und nur infolge des Todes des Kerns später abzusterben. Bei Charazellen, die mit Kaliumoxalat behandelt waren, zeigten sich noch viele Stunden lebhafte Plasmaströmungen.

Loew stellte im Laufe der Jahre eine grosse Anzahl solcher Versuche an, die er in vielen Arten variierte und bezüglich derer wir auf zitierte Schriften verweisen müssen. Er untersuchte in dieser Art die Wirkung vieler kalkfällender Mittel, die immer ähnliche Resultate gaben, wie Fluornatrium, Dikaliumkarbonat;[2]) überall zeigte sich die erwähnte Erscheinung, die er als Folge einer Kalkentziehung auffasste und aus der er rückschliessend das Vorhandensein von Kalk im Zellkern folgerte.

Wie wir früher erwähnten, schloss Loew an die Versuche mit Kalksalzen solche mit Magnesiasalzen an. Er schloss aus den Ergebnissen, dass der Kalk im Zellkerngerüst dabei gegen Magnesia ausgetauscht werden könne, wodurch der Tod des Kernes herbeigeführt werde.[3])

In ähnlicher Weise stellte auch Bokorny[4]) einige Versuche an, indem er Spirogyra in Nährlösungen ohne Kalk kultivierte, ferner in solchen ohne Magnesia und in anderen, wo beide Basen fehlten. Er beobachtete sehr bald bedeutende Störungen in der Anordnung des Zellinhalts und allmählichen Tod der Zellen, der am schnellsten dann eintrat, wenn kein Kalk vorhanden war. Bei Magnesiamangel wurden auch die Zellkerne kleiner und ebenso die Chlorophyllkörper.

Da aber trotzdem der Aufstellung Loews nicht überall zugestimmt wurde,[5]) hielten wir es für angezeigt, selbst einige Beobachtungen darüber zu machen. Es wurde da-

---

[2]) Siehe Bull. Coll. Agr. Tokyo 1906, Bd. 7 Nr. 1.

[3]) Loew und Aso, „On physiol. balanced. solutions" l. c. Nr. 3, s. auch S. 10., ebenfalls in O. Loew, Natürliches System der Giftwirkungen, Stuttgart 1893, p. 118.

[4]) Bot. Zentralblatt 1895, Bd. LXII, Nr. 1.

[5]) Hansteen, Jahrb. f. wissensch. Bot. XLVII, Heft 3 p. 374.

bei auch an die Möglichkeit gedacht, dass die fadenförmige Kontraktion des Zellkerns, die Loew beschrieben hat, ja auch vielleicht durch ein rasches Abtöten oder Fixieren der Suspensionsbänder, die die Kerntasche halten, bedingt sein könnte und dadurch ein Zusammenziehen des Kerns möglich wäre, auch wenn der Kern keinen Kalk enthalten würde. Aus diesen Gründen schien uns ein Nachprüfen und Wiederholen der Loewschen Versuche mit Spirogyra unter möglichst einwandfreien Bedingungen und Beobachtungen mit den besten Vergrösserungsmitteln am Platze.

Ende Januar 1910 wurde eine Anzahl Fäden von Spirogyra nitida aus den Glashäusern des botanischen Instituts der K. Technischen Hochschule entnommen. Sie wurden, um den Zellkern möglichst klar sehen zu lassen, erst in eine Nährlösung gebracht, wo sie stark wachsen konnten, um möglichst grosse Zellen zu haben, auch mussten sie in einem dunklen Raum einige Tage aufbewahrt werden, um die Chlorophyllbänder weniger dicht zu erhalten und dadurch die Beobachtung des Zellkerns zu erleichtern.

Bei Bereitung der Nährlösung wurde besondere Sorge auf die Reinheit des destillierten Wassers verwendet. Da das käufliche destillierte Wasser meistens Spuren von Kupfer aus den Destilliergefässen enthält (was sich auch bei einigen unserer Vorversuche durch Absterben der Zellen bemerkbar machte), so wurde es immer eigens bereitet; es kam nur das in mehrfach ausgewaschenen Glasgefässen eines Soxhletschen Destillierapparates wiederum mehrfach destillierte Wasser zur Anwendung. Die Nährlösung war folgende:

Kalium-Monophosphat .	0,2	pro mille Wasser.
„ -Nitrat	0,2	
Calciumnitrat	0,1	
Magnesiumsulfat . . .	0,3	
Eisensulfat	Spuren	

Der höhere Magnesiumgehalt hatte den Zweck, die Streckung der Zellen zu begünstigen.

Die Spirogyrafäden erhielten nach einigen Tagen ein sehr schönes Aussehen und zeigten bei tausendfacher Vergrösserung äusserst deutlich den Zellkern in seiner Tasche, sowie dessen Suspensionsbänder. Keine Veränderung am Zellkern konnte bemerkt werden, als eine 2%ige Lösung (in destilliertem Wasser gleicher Bereitungsweise) von Kalium-Tartrat oder -Sulfat zugegeben wurde. Aeusserst rasch war aber die Veränderung, als ein Tropfen 2%iger Kaliumoxalatlösung auf den Objektträger gebracht wurde. Eine deutliche Kontraktion der Kerntasche und des Kernes trat ein, die völlig mit den Angaben Loews übereinstimmte. Nun war diese Kontraktion in einigen Fällen so lebhaft, dass der Kern sich nicht mehr zu einem Strang zusammenzog, was ja durch Kontraktion der Tasche oder der Bänder bewirkt sein konnte, sondern er schrumpfte so stark zusammen, dass er sogar die Chlorophyllbänder von der Zellwand losriss und zu sich zog.

Diese Erscheinungen wurden danach noch eingehender untersucht und dazu die allerstärksten verfügbaren Vergrösserungen angewendet. Es wurde an unserem Zeissschen Mikroskop mit dem Objektiv 1/12 (homogene Immersion) und Okular 18 eine Vergrösserung von ca. 2250 erreicht und dabei auch der Reichertsche Tisch für seitliche Beleuchtung angewendet (Ultramikroskopie). In dieser Weise waren die normale Zelle und ihre Bestandteile ganz besonders deutlich und vorzüglich sichtbar. Das Bild war ungefähr wie in der folgenden schematischen Zeichnung, die nach der Natur gemacht wurde, da Mikrophotographien wegen der kolossalen Vergrösserung und Geschwindigkeit der Vorgänge nicht gut gelangen. (Fig. 26a.)

Nach der Einwirkung von neutralem Kaliumoxalat kontrahierte sich der Kern nach wenigen Minuten in dersel-

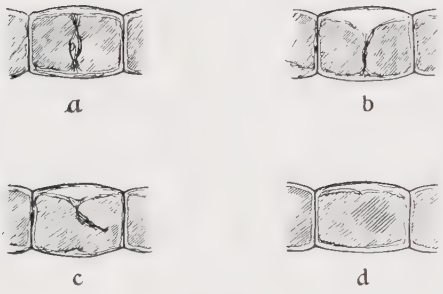


Fig. 26.

Einwirkungsphasen von neutralem Kaliumoxalat auf den Zellkern.

ben Weise, indem er einen Teil des Cytoplsamas mit sich zog (b). Später aber riss sogar ein Teil der Suspensionsbänder (c), der Kern kontrahierte sich immer mehr und verschwand schliesslich fast vollständig (d). Diese und andere ähnliche Beobachtungen, die völlig mit den Loewschen sich decken, führten mich zum Schlusse, dass es sich nicht um eine Wirkung auf die Suspensionsbänder, sondern auch wirklich nur um eine Kontraktion des Kernes (anscheinend durch Kalkentziehung) handeln muss. Leider konnten diese Versuche wegen Zeitmangel vorläufig nicht in dieser Richtung weiter verfolgt werden, da unser Hauptaugenmerk auch auf andere Dinge gerichtet sein musste und ein kurzes Nachprüfen der Loewschen Beobachtung auch dadurch erreicht war.

Nachdem wir einen kurzen Blick auf die Rolle des Kalkes in der pflanzlichen Zelle geworfen haben, wenden wir uns jetzt zur Magnesia.

Wie oben Seite 9 erwähnt, liegt nach Loew eine der Hauptfunktionen der Magnesia in der Assimilation der Phosphorsäure.

Es müssen aber auch die in neuerer Zeit von Willstätter veröffentlichten Arbeiten[6]) über den Magnesiagehalt des Chlorophylls mit in Betracht gezogen werden.

Diesem Forscher gelang es im Jahre 1907, den Angaben von Borodin und Monteverde (aus 1881 und 1893) folgend, reines kristallisiertes Chlorophyll zu isolieren. Dieses zeigte sich bei der Analyse als eine Magnesiaverbindung, für die Willstätter die Formel $C_{38}H_{42}O_7N_4Mg$ aufgestellt hat.

Sonach ist anzunehmen, dass die Magnesia nicht nur bestimmend ist bei der Ernährung und der Phosphorsäureaufnahme, sondern auch bei der Assimilation hinsichtlich der Bildung der Chlorophyllkörper in der Zelle. Ein experimenteller Beweis durch anatomische Untersuchung der Zellen zur Bestätigung dieses durch chemische Untersuchung des Chlorophylls gefundenen Resultates schien uns sehr am Platze.

Es handelte sich also darum, nachzuforschen, wie sich bei einer Pflanze, die unter Magnesiamangel leidet, die Chlorophyllkörper verhalten.

Da ferner bekannt ist, dass der Kalk sowohl bei Ueberschuss als auch bei normaler Zufuhr in den Blättern und Stengeln der Pflanzen meistens in verschiedenen Formen, von Calciumoxalatkristallen wie von einzelnen Kristallen, Drusen oder Raphiden, abgelagert wird, so schien es auch

[6]) R. Willstätter, Untersuchungen über Chlorophyll in Liebigs Annalen der Chemie, Bd. 358 p. 267.

interessant, dieser Ablagerung, die eine Art von Regulierungsvorrichtung für die meisten Pflanzen bezüglich des Kalkes ist, durch anatomische Untersuchungen der Pflanzenteile nachzuforschen.

Hier kam es also darauf an, zu untersuchen, welche Besonderheiten die Zellen bei Kalkmangel zeigen.

Von den Untersuchungen seien die folgenden Versuche erwähnt:

b) Versuche mit Tradescantia.

Da Getreidearten für diese Untersuchungen nicht gut in Betracht kommen konnten, so mussten blattreiche, widerstandsfähige Versuchspflanzen gewählt werden, und deshalb wurde die für pflanzenphysiologische Versuche sehr beliebte Tradescantia genommen. Mit dieser wurden im Winter und Frühjahr 1910 eine grössere Anzahl Versuche angestellt. Diese wurden zugleich für eingehendere Wurzeluntersuchungen benutzt, wie auch in dem betreffenden Abschnitt erwähnt ist.

Aehnliche Versuche hatten 1889 Schimper und 1892 Loew ausgeführt. Schimper scheint aber bei seinen Versuchen den Reservestoffgehalt der Stengel und deren Wirkung auf die Weiterentwicklung nicht genügend berücksichtigt zu haben.[7]) Diesem Punkte widmeten wir deshalb auch besondere Sorgfalt.

Es wurden drei Gruppen gebildet, von denen die eine, *B* die folgende vollständige Nährlösung enthielt:

Monokaliumphosphat . .	0,5	pro 5000 ccm Wasser
Kaliumnitrat	2,5	
Natriumsulfat	1,0	
Calciumnitrat	2,5	
Magnesiumnitrat . . .	1,0	
Eisensulfat	Spuren	

In einer anderen Gruppe *A* fehlte die Magnesia, in der dritten Gruppe *C* der Kalk. Die Lösungen wurden mit reinstem, eigens destilliertem Wasser bereitet, mit ebenfalls reinsten Reagentien (von Merck-Darmstadt). Die

[7]) Flora 1892, Heft 3 p. 371.

Glasgefässe fassten ähnlich wie bei den schon früher beschriebenen Wasserkulturen ca. $^3/_4$ Liter, und die Nährlösungen wurden auch hier alle 10—14 Tage erneuert, um jede Aenderung zu vermeiden. Die Gläser waren vorher gut mit Salzsäure ausgewaschen und in den einen besonders genauen Versuchen wurden sie noch innen mit einer dünnen Schicht Paraffin bekleidet, um jeder Lösung von Stoffen aus dem Glas vorzubeugen. Ebenso waren auch die Korke behandelt. Von jedem Versuch wurden jedesmal zwei Parallelserien gebildet und zu einigen auch zur Kontrolle je ein Glas, worin sich nur destilliertes Wasser befand.

Für den Hauptversuch wurde eine Anzahl Tradescantia-Stecklinge von ein und derselben Pflanze aus den Glashäusern des botanischen Instituts entnommen. — Um die Wirkung der aufgespeicherten Reservestoffe möglichst zu vermeiden, wurden diese möglichst gleichmässig ausgesuchten Stecklinge erstens äusserst kurz geschnitten (nur ein Internodium von 3—5 cm) und darnach alle in reinstes destilliertes Wasser gestellt und dort 35 Tage lang treiben lassen, bis angenommen werden konnte, dass die ganze aufgespeicherte Kalk- oder Magnesiamenge zur Bildung von Wurzeln oder Blättern verbraucht war. Dann erst (im März 1910) wurden unter diesen Stecklingen gleichmässige ausgewählt und von diesen alle bis da gebildeten Wurzeln mit der Ausnahme von zwei überall gleichen, 2 cm langen Stückchen abgeschnitten. Ebenso wurden auch die bis dann gebildeten Blättchen abgeschnitten. Von den so vorbereiteten Stecklingen wurde je einer in jedes Glas mit der oben beschriebenen Nährlösung eingesetzt. Es traten bald bei diesem Versuch sowie bei zwei anderen Versuchen, die mit Stecklingen ohne diese vorherige Aushungerung angestellt wurden, ganz gewaltige Unterschiede zwischen den Gruppen auf, am frühesten bei den ausgehungerten, später bei unausgehungerten k u r z e n Stecklingen und noch später bei

länger genommenen Stecklingen, die also noch mehr Reservestoffe hatten.

Ueberall aber waren die pathologischen Erscheinungen bei Kalk- oder Magnesiamangel gegenüber dem gesunden, üppigen Weiterwachsen der Gruppe B (volle Nährlösung) schliesslich gleich. Diese sind bei den Veränderungen der einzelnen Pflanzenteile (Wurzeln, Blatt usw.) später beschrieben, da wir ja hier erst die Veränderungen innerhalb der Zellen selbst verfolgen.

Diese Versuche wurden im Gegensatz zu den früheren von Schimper oder von Loew, die nur kurze Zeit beobachteten, hier bis aufs äusserste ausgedehnt, nämlich bis zum vollständigen Absterben der Gruppen mit Kalk- oder Magnesiamangel, was bei der ausserordentlichen Widerstandsfähigkeit der Tradescantiaart erst nach 8 bis 9 Monaten stattfand.

Zahlreiche mikroskopische Schnitte durch die Stengel dieser Pflanze, die gemacht wurden, als die Wirkung von Kalk- und Magnesiamangel recht deutlich geworden war (Juni 1910), zeigten einige ganz interessante Tatsachen, wie die folgenden Mikrophotographien erkennen lassen.

Abbildung 27 zeigt einen Schnitt durch den Stengel einer Normalpflanze von Gruppe B.[8]) Hier sind alle Zellen vollgefüllt mit Chlorophyll und Stärkekörnern, neben welchen sich fast in allen Zellen lange Raphiden sowie Einzelkristalle von Calciumoxalat finden. Ein breiter, dicker Ring von Zellen mit assimilierendem Chlorophyll zeigt sich an der Peripherie des Stengels.

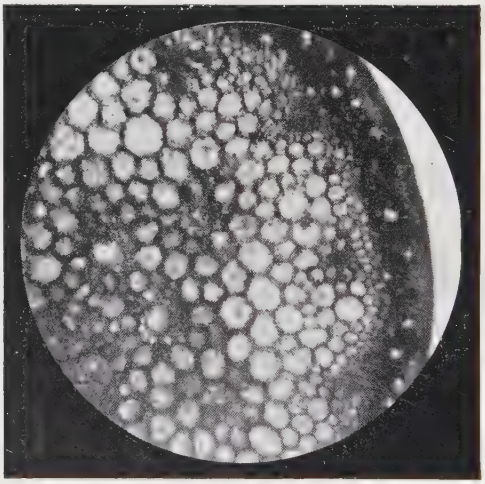


Fig. 27. Zellen bei normaler Ernährung.

[8]) Diese wurden auch mit Schnitten aus der Mutterpflanze, die in der Erde wächst, verglichen und kein Unterschied gefunden.

Ganz anders aber sind die Zellen im Schnitte durch den Stengel einer Pflanze der Gruppe A, die unter Magnesiamangel litt. Die Zellen sind ganz leer von Chlorophyll, nur auf einem dünnen Ring in den äusseren Zellen ist noch eine geringe Spur vorhanden, als Wirkung der letzten Reste der Magnesiaverbindung.

Die übrigen Zellen enthalten nur eine grosse Menge Calciumoxalat in Form von Einzelkristallen, sowie von Raphiden, die auf dem Bilde erkennbar sind.[9])

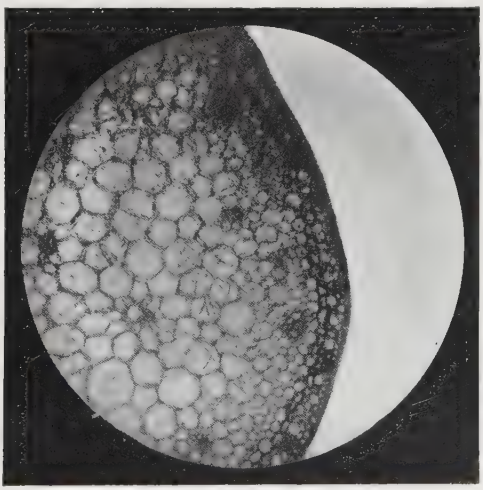


Fig. 28. Zellen bei Magnesiamangel.

[9]) Eine mikrochemische Reaktion über die Natur der Kristalle wurde natürlich auch versucht. Sie lösten sich vollständig in Salzsäure, bei Behandlung mit Schwefelsäure fielen Gipsnadeln aus.

Wenn wir jetzt zu den Zellen der Gruppe C übergehen, sehen wir hier bei dem Kalkmangel, dass vor allem nirgends ein Calciumoxalatkristall zu sehen ist. Die Zellen enthalten noch ziemlich viel Stärkekörner (Reservestärke) und Chlorophyllkörper, die sich aber nicht wie bei der Gruppe A auf die äusseren Zellen beschränken, sondern hier meistens den inneren Teil des Stengels gegen die Mitte füllen.

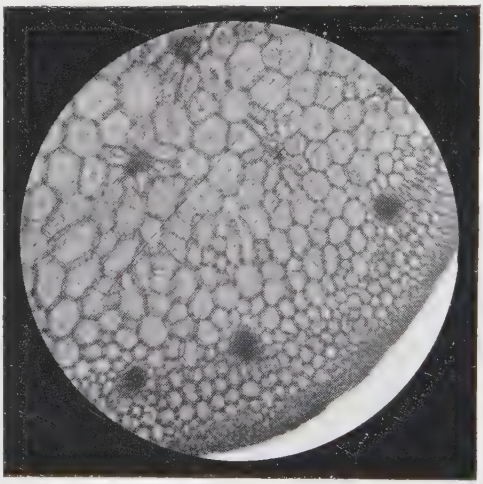


Fig. 29. Zellen unter Kalkmangel.

Fassen wir die Resultate dieser Beobachtungen zusammen, so ergibt sich:

1. Bei alleinigem Magnesiamangel verschwindet aus der Zelle das Chlorophyll, dagegen häufen sich Calciumoxalatkristalle an.

2. Bei Kalkmangel ist nie ein Calciumoxalatkristall sichtbar. Chlorophyll ist noch vorhanden, obwohl wegen des starken Kränkelns der Pflanze in geringerem Masse.

II. Wirkung von Kalk und Magnesia auf die einzelnen Pflanzenteile.

A. Wirkung auf Spross und Blatt.

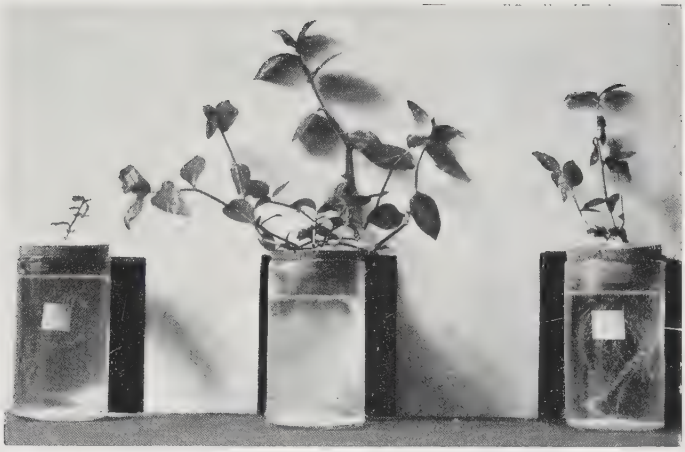
Für den grössten Teil dieser Untersuchungen wurde das Material verwendet, welches aus sämtlichen bis hier beschriebenen Versuchen gesammelt war.

Auf die Versuchsanstellungen selbst brauchen wir hier nicht mehr zurückzukommen.

Was die Wirkung auf Spross und Blatt anbelangt, so kommen vor allem die vorhin beschriebenen Versuche mit der blattreichen Tradescantia in Betracht. Bei dieser wurde nun die Wirkung von grossem bis tödlichem Mangel einer der beiden Basen beobachtet, während wir bei den Versuchen mit Getreide die Wirkung grosser Ueberschüsse verfolgen können.

Bei Tradescantia trat als erste Erscheinung (nach den Unterschieden in der Bewurzelung, die später erwähnt werden) bei Gruppe C (Kalkmangel und Magnesiaanwesenheit) ein starkes Zurückbleiben bis zum vollständigen Stillstand in der Weiterentwicklung ein. Als die letzten Reste des aufgespeicherten Kalkes verbraucht waren, konnte die Pflanze ohne Kalk nicht mehr wachsen.

Die Vegetationspunkte wurden immer kleiner und nur die bis dahin gebildeten älteren Blätter blieben am Leben. Da aber in der Nährlösung dieser Gruppe alle Nährstoffe, also auch Magnesia, in gleichen Mengen vorhanden waren, so kam hier, bei dem Fehlen des Kalks, nicht nur dessen ernährende Wirkung, sondern auch seine entgiftende Wirkung gegenüber Magnesia in Wegfall und deshalb traten (obwohl die absolute Menge Magnesia dieselbe wie beim gesunden Normalglas war) hier bald auch die Vergiftungssymptome der Magnesiaüberschüsse auf. Alle jungen, zarten Teile, Knospen und alle Vegetationspunkte fingen an abzusterben und schwarz knorrig verschrumpft



Gruppe C (Kalkmangel) Gruppe B (normal) Gruppe A (Magnesiamangel)

Fig. 30. Tradescantiaversuch.

zu vertrocknen. Die Pflanze stirbt also in diesem Falle von oben nach unten ab. Die älteren Teile sterben dann allmählich ab, das Chlorophyll, wie wir schon sahen (Seite 106), zieht sich allmählich nach innen, die Stengelglieder verdicken sich und sterben dann auch (bei Tradescantia nach ziemlich langer Zeit) schliesslich ab. Charakteristisch ist aber, dass hier die Farbe direkt vom Grünen ins Schwarze beim Absterben geht, ein Zeichen, dass hier die Chloroplasten nicht erst entfärbt werden, sondern durch den Tod der Pflanze zugrunde gehen. Vor dem Absterben sind die Teile sogar tiefgrün.

Ganz anders verhielten sich die Pflanzen, die in der Gruppe A unter Magnesiamangel litten. Hier trat viel später ein Zurückbleiben in der Entwicklung ein, ein vollständiger Stillstand trat sogar bis nahe vor dem Tode nicht ein. Hier starben umgekehrt die älteren Blätter und Stengelglieder ab und der Tod ging also hier von unten nach oben. Ganz verschieden von dem im anderen Falle beobachteten Vergiftungstod trat hier ein Hungertod ein.

Die Blätter waren zuerst äusserst dünn und blass. Frühzeitig traten auf den älteren Blättern gelbbraune Flecken auf, die sich immer mehr vergrösserten, bis schliesslich das ganze Blatt durch das vollständige Verschwinden des Chlorophylls gelbrötlich und papierdünn vertrocknete und so herunterhing (allmähliche Aushungerung). Die Pflanze entwickelte immer neue Blätter, die anfangs völlig gesund waren, aber bald unter denselben Erscheinungen, die allmählich immer früher auftraten, zugrunde gingen. Sehr interessant war hier auch das Verhalten der Stengel: in diesem Falle wurden sie immer dünner, bis sie schliesslich anfingen gelbbraune Streifen aufzuweisen, und bald

Fig. 31. Absterbungssymptome beim Kalk- und Magnesiamangel.

Auf dem Bilde sind links (Mg-mangel) zwei fadenförmig eingeschnürte Internodien sichtbar, an denen die noch grünen Knospen herunterhängen, alle älteren Blätter sind abgestorben. Rechts (Kalkmangel) sind die verdickten Internodien sichtbar und die abgestorbenen und verschrumpften Vegetationsspitzen.

darnach fingen ältere Internodien merkwürdigerweise von unten an abzusterben, sich einzuschnüren und zu vertrocknen, obwohl die Knospe (Vegetationsspitze) noch immer grün war. Sie kam mit dem Absterben der Stengel zum Herunterhängen und ging schliesslich mit der ganzen Pflanze zugrunde. Die beschriebenen Erscheinungen von Kalk- und Magnesiamangel zeigt beistehendes Bild von zwei Exemplaren, die in einem vorgeschrittenen Stadium des Kalk- bezw. Magnesiamangels aufgenommen wurden. (Siehe Fig. 31.)

Um diese Unterschiede in der Wirkung auf den Vegetationspunkt noch weiter zu prüfen, wurde, nachdem der eine dieser Versuche 3 Monate lang in Gang war und die charakteristischen Erscheinungen auftraten, von jeder der drei Gruppen ein Steckling abgeschnitten und in eine normale Nährlösung gesetzt, um die Erholungsfähigkeit zu prüfen. Anfangs bildeten alle drei Adventivwurzeln, der Steckling von der Gruppe C (Kalkmangel) blieb aber dabei stehen, konnte keine Knospen und Blätter entwickeln und starb ab, ein Zeichen, dass hier der Vegetationspunkt angegriffen war. Dagegen der Steckling der Gruppe A (Magnesiamangel) erholte sich vorzüglich und bildete bald eine gesunde, kräftige Pflanze.

Es wurden neben diesen auch zahlreiche mikroskopische Präparate und anatomische Untersuchungen gemacht, die auch u. a. die Annahme bestätigten, dass beim Absterben durch Magnesiamangel zuerst das Chlorophyll verschwinde. Ein Teil dieser Untersuchungen ist schon bei der Besprechung der Veränderungen der Zelle beschrieben worden. (Seite 104.)[10])

Anatomische Untersuchungen des Blattes zeigten, dass dessen Querschnitt sich sowohl beim Kalk- als beim Magnesiamangel bedeutend verringert, gegen die Normalwasserkultur sowie die Normalpflanze in Erde, mit welchen beiden stets verglichen wurde. Interessant ist aber,

[10]) Vgl. mit den Versuchen von Raumer, siehe p. 5.

dass bei Kalkmangel die Epidermisschicht dünner ist, die Assimilationsschicht dagegen etwas breiter bleibt als bei Magnesiamangel, wo die Assimilationsschicht am geringsten ist, sowohl das Palissadenparenchym als das Schwammparenchym. Einige mikrometrische Messungen können als Beispiel dienen (die Zahlen sind Divisionen des Mikrometers und sind die mittleren Resultate von 5—10 Messungen):

	obere Epidermis	Assimilationsschicht	untere Epid.
Gruppe A (Mgmangel	8,0	3,00	3,5
Gruppe B (normal)	14,5	10,25	5,0
Gruppe C (Kalkmangel)	6,5	6,00	3,0

Es schienen auch an den Rändern der Blätter bei A eine grössere Anzahl Epidermishaare vorhanden zu sein, was mit der grösseren Dicke der Epidermis in Zusammenhang stehen kann. Wir konnten aber auf diese Un-

Fig. 32. Längsschnitt durch den Vegetationspunkt einer unter Kalkmangel leidenden Pflanze.

tersuchungen nicht weiter eingehen. Interessant war, dass auch hier im Blatt, wie früher für den Stengel schon angegeben wurde, und der Erwartung ganz entsprechend, nirgends bei Gruppe C ein Calciumoxalatkristall zu finden war, was bei A und B äusserst häufig vorkam.

Einige Aufmerksamkeit wurde auch auf die, wie schon erwähnt, bei Kalkmangel und Magnesiaanwesenheit immer absterbenden Vegetationsspitzen gerichtet. Alle zu dem Zwecke gemachten Schnitte zeigten, dass alle meristematischen Teile mitten zwischen den mit Chlorophyll gefüllten Zellen schwarz wurden und abstarben. Einen Längsschnitt durch den oberen Vegetationspunkt einer solchen Pflanze zeigt die Mikrophotographie (Fig. 32), die bei schwacher Vergrösserung aufgenommen wurde.

Es wird zum Schluss vielleicht von Interesse sein, einen vergleichenden Blick auf die Gesamtentwicklung der oberirdischen Teile, Stengel und Blätter bei Normalpflanzen sowie bei solchen, die unter relativ grossem Kalk- und Magnesiamangel sich befanden, bei zwei unserer Versuche in einem jüngeren und älteren Stadium zu werfen.

		Gruppe A	B	C
Serie XI	Zahl der Zweige	7	11	5
	Gesamtlänge	51	107	25
Serie XVIII	Zahl der Zweige	4	12	1
	Gesamtlänge	370	1200	55

Ausserdem sei auch auf die Photographie Seite 109 Fig. 30 verwiesen.

Nachdem wir die Wirkung des absoluten Mangels von Kalk und Magnesia bei den Versuchen mit Tradescantia kurz betrachtet haben, wenden wir uns zur Wirkung von Ueberschüssen und ungünstiger Kalkfaktoren, die bei den Versuchen mit Getreide vorhanden waren. Dazu werden vorzugsweise die Sandkulturen aus dem

Jahre 1910 und die Wasserkulturen in Betracht kommen. Was den Ueberschuss des Kalkes antrifft, so konnten wir hier keine pathologischen oder sonst bemerkenswerten Veränderungen des Sprosses oder Blattes finden. Eine entwicklungshemmende Wirkung im Ueberschuss konnte nur in der allgemeinen Entwicklung der Pflanze bemerkt werden, die auch im ersten Teil beschrieben ist. Hinsichtlich einzelner Pflanzenteile können wir nur aus den Ernteresultaten einige Tatsachen erwähnen.

So leidet bei einem grösseren Kalküberschuss das Höhenwachstum, und Kanamota, der ganz grosse Ueberschüsse anwendete, fand Nanismuserscheinungen. Aehre, Körnerproduktion und absolutes Korngewicht schienen aber ganz besonders darunter zu leiden, wie unsere früher angegebenen Zahlen zeigen. Im allgemeinen aber müssten, um wirklich deutliche und charakteristische Erscheinungen in dieser Richtung zu erreichen, viel grössere Extreme genommen sein, als wir sie hatten.

Ganz anders aber stellte sich die Sache bei der Wirkung eines Magnesiaüberschusses. Hier liessen die Beobachtungen alle Abstufungen von einer geringen Wachstumsdepression bis zum Tod der Pflanze durch Vergiftung erkennen. Von den dabei bemerkten Erscheinungen können wir bei Blatt und Spross folgende erwähnen: Bei einem zehn- bis zwanzigfachen Ueberschuss von Magnesia über Kalk in Wasserkulturen trat nach kurzer Zeit ein Vertrocknen und Absterben der Blattspitzen ein, was auch gleich auf den Spross übergriff. Die vertrocknenden Spitzen der Sprosse rollten sich fadenförmig zusammen, oft unter charakteristischen schraubigen Windungen. Bei einem 20fachen Ueberschuss starben die Pflanzen nach kurzer Zeit in dieser Art von oben nach unten ab. Bei einem 10fachen Ueberschuss wurde bemerkt (ebenfalls in Wasserkulturen), dass bei denselben Erscheinungen, die aber langsamer vor sich gingen, die Pflanze nicht abstirbt, sondern immer neue Sprosse bildet, die aber auch in ähnlicher Weise von oben her abtrocknen.

Bei Sandkulturen sind diese Erscheinungen natürlich nicht so deutlich bemerkbar und ein 20facher Magnesiaüberschuss ist auch nicht tödlich. Es wurden aber hier auch ähnliche Veränderungen bemerkt, vor allem im Jugendzustand, wo die zarten Vegetationspunkte scheinbar viel empfindlicher gegen Magnesiaüberschuss sind und das stark magnesiahaltige Korn auch dazu beiträgt. So wurde bei Weizen dasselbe charakteristische Vertrocknen und fadenförmige Einrollen der Blattspitzen bemerkt.[11]) Später trat aber diese Erscheinung zurück, wahrscheinlich weil die jetzt kräftiger gewordenen Pflanzen schon mehr Magnesia brauchen konnten. In späterem Stadium und bei der Körnerproduktion erscheint ein geringer Magnesiaüberschuss weniger schädlich zu wirken.

Es sei hier noch kurz eine eigentümliche Beobachtung des Tabakchemikers Dr. Michels aus Porto Rico erwähnt, die mir durch Privatmitteilung zur Kenntnis gelangte. Auf den dortigen, sehr magnesiareichen Böden wachsende Tabakspflanzen wurde auf den Blättern eine Ausscheidung (Auskristallisation) eines Salzes beobachtet, welches summarisch untersucht sich als ein Magnesiumsalz (wahrscheinlich apfelsaures) erwies.

Es wäre interessant gewesen, die Untersuchungen auch noch auf derartige Beobachtungen auszudehnen. Leider nötigten Zeitmangel und andere Umstände (wie Abbruch der Glashäuser des Botanischen Instituts usw.), diese speziellen Untersuchungen zu beschränken.

---

[11]) Siehe Seite 56 im ersten Teil.

B. Wirkung auf die Wurzel.

Wie schon gesagt, wurde auf die Wurzeluntersuchungen das hauptsächlichste Gewicht gelegt und zwar erstens, weil bis jetzt nur wenige Forscher sich damit eingehend beschäftigten und zweitens weil gerade für die Erklärung und nähere Erforschung dieser physiologischen Vorgänge die Wirkung auf die Wurzeln, die ja mit Kalk und Magnesia zuerst in Berührung kommen, von grösster Wichtigkeit schien.

Ueber die günstige Wirkung des Kalkes auf die allgemeine Wurzelentwicklung ist schon in der ältesten Literatur ziemlich vieles erwähnt. So fand 1864 E. Wolff,[12]) dass Calciumnitrat auf die Wurzeln günstig wirke. 1880 beschrieben Raumer und Kellermann[13]) eine ungünstige Wirkung der Magnesia auf die Wurzel, sie beschrieben auch die Missbildungen, die diese Wurzeln bei Kalkmangel erfahren. Ueber die nähere Beschaffenheit dieser Abänderungen ist aber äusserst wenig bekannt. Loew[14]) berichtete zuerst 1892, dass die Tradescantiawurzeln eine Verschiedenheit in der Behaarung aufweisen, je nach dem Kalk- oder Magnesiagehalt der Lösung. Er bemerkte, dass bei Kalkmangel und Magnesiaanwesenheit die Wurzelhaare äusserst spärlich und kurz waren.

---

[12]) Landw. Vers. VI 869.
[13]) Landw. Vers. 25. 1880.
[14]) Flora 3, 1892, 389.

In den letzten Jahren bestätigten die Beobachtungen Konowalows diese Annahme, jedoch wurde keine nähere Untersuchung in dieser Richtung gemacht. Deshalb scheint es uns wichtig, Untersuchungen über folgende Fragen aufzustellen:

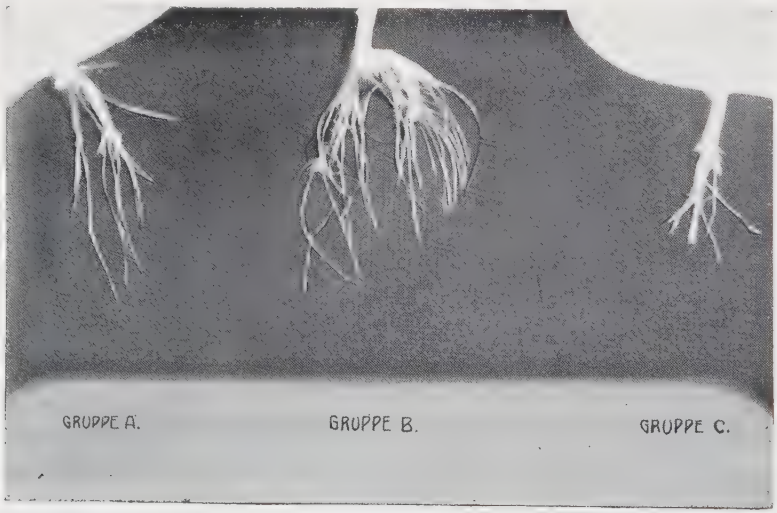
1. Wie verändert sich bei Mangel von Kalk oder Magnesia sowie bei Ueberschuss davon oder bei ungünstigem Kalkfaktor die allgemeine Beschaffenheit des Wurzelsystems bei Sand- und Wasserkulturen?

2. Wie verändert sich unter ähnlichen günstigen oder ungünstigen Bedingungen die spezielle Beschaffenheit der Wurzel, insbesondere der Behaarung?

a) Wirkung von Kalk und Magnesia auf das Wurzelsystem.

1. Versuche mit Tradescantia in Wasserkultur.

Die Versuchsanstellung selbst ist oben bereits beschrieben worden. Bei den verschiedenen Versuchsserien traten kurz nach dem Einsetzen der Stecklinge in die Nährlösung die ersten Würzelchen auf. Diese gestalteten sich aber bald, besonders bei den vorher ausgehungerten Pflanzen, sehr verschieden voneinander. In den vollen Nährlösungen wuchsen sie am üppigsten, sehr lang und



Magnesiamangel Normallösung Kalkmangel

Fig. 33. Wurzelsystem von Tradescantia.

Diese Bilder wurden durch direktes Auflegen des Wurzelsystems auf lichtempfindliches Papier aufgenommen.

sehr verzweigt, während sie sich in der Lösung ohne Magnesia viel weniger verzweigten und meistens in die Länge wuchsen. Dagegen in der Lösung ohne Kalk war das Längenwachstum äusserst gering, dagegen die Verzweigung sehr gross, wenn auch die Seitenwurzeln oft nur warzenförmig kümmerliche Gebilde bleiben. Ein Bild dieser Unterschiede zeigt die Photographie einer Serie (Fig. 33).

Bei allen Versuchen trat dieselbe Veränderung ein: Die Wurzeln unter Magnesiamangel waren gesund, aber lang und weniger verzweigt als die übrigen Wurzeln, die sehr dicht im Normalglas wuchsen. Dagegen waren die Wurzeln unter Kalkmangel äusserst unnormal, blieben klein, knorrig, oft dicht aufgeschwollen und starben bald ab, was an der schwarzen Färbung und Verpilzung wahrnehmbar war. Die geringe Verzweigung der Wurzeln unter Magnesiamangel brachte schliesslich doch eine geringe Gesamtproduktion mit sich gegen die Normalpflanze. Bemerkenswert war auch, dass die Wurzeln aus den kalkfreien und magnesiahaltigen Lösungen sogar kleiner wie die der in reinem, destilliertem Wasser gezogenen Pflanzen waren. Folgende Messungen der Wurzeln einer Versuchsserie können als Beispiel dienen.

	Dest. Wasser	Gruppe	A	B	C
Totale Länge des Wurzelsystems	40 mm		190	250	25

Aus diesen Versuchen ergab sich sonach, dass sowohl Magnesia- wie vor allem Kalkmangel einen wesentlichen Einfluss auf die allgemeine Wurzelentwicklung haben.

2. Versuche mit Getreide in Wasserkultur.

Ausser den Untersuchungen über die Folgen des absoluten Mangels von Kalk und Magnesia auf die Bewurzelung wurden auch solche über die Wirkung des Ueberschusses sowie von verschiedenen Kalk- und Magnesiaverhältnissen angestellt. — Als Beobachtungsmaterial dienten die Wurzelsysteme der Gerste aus den Wasserkulturen, deren Anstellung im ersten Teil schon besprochen wurde. Es wurden hier die Versuche mit Nitraten verwendet, da in diesem Falle die Lösungen überall die gleiche Anzahl Moleküle Nitrat und gleiche Konzentration hatten, so dass die Wurzeln nur unter dem Einfluss verschiedener Kalk-Magnesiaverhältnisse ohne störende Nebenfaktoren wuchsen. Es zeigte sich, dass beim Verhältnis 1 : 1 die Entwicklung und Grösse des Wurzelsystems bedeutend besser wie bei 20 : 1 ist, während bei 1 : 20 die Wurzel ganz pathologisch knorrig und verkümmert ist und bald wie die ganze Pflanze zugrunde geht. Folgende Photographien, die nach dem vorher beschriebenen eigenen Verfahren von der lebenden Wurzel am 50. Lebenstag aufgenommen wurden, zeigt diese Unterschiede.

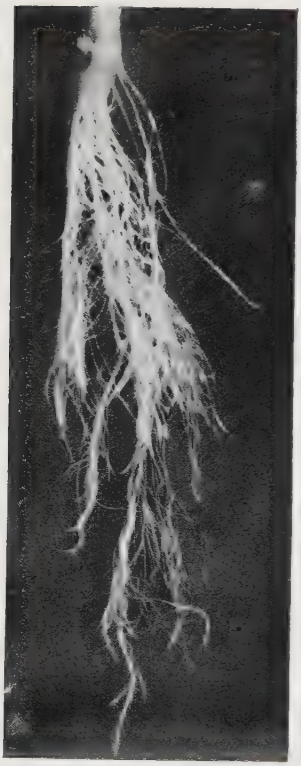


Fig. 34. Wurzelsystem von Serie XXII Gruppe A $\frac{20}{1} = \frac{CaO}{MgO}$

Fig. 35. Wurzelsystem von Serie XXII Gruppe B $\frac{1}{1}\ \frac{CaO}{MgO}$

Fig. 36. Wurzelsystem von Serie XXII Gruppe C $\frac{1}{20} - \frac{CaO}{MgO}$

3. Versuche mit Getreide in Sandkultur.

Am deutlichsten zeigten die Versuche, die im Jahre 1910 mit Weizen in Sandkultur angesetzt wurden, wie gross der Einfluss eines richtigen Kalk-Magnesiaverhältnisses auf die Entwicklung des Wurzelsystems sein kann. Bei diesen Versuchen, die im ersten Teil eingehend besprochen wurden, sind auch in den Tabellen die Zahlen für die Gewichtsveränderungen des Wurzelsystems von 5 Pflanzen unter den Verhältnissen 1 : 1, 1 : 3, 1 : 10 und 1 : 20 angegeben. Wenn wir die allgemeinen Mittelzahlen kurz aus der Tabelle wieder vorführen, so sehen wir:

Beim Versuche mit Nitraten:

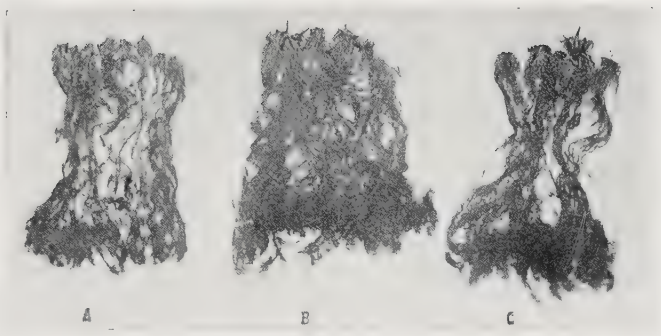
Gruppe	A 20:1	B 1:1	C 1:20
Wurzelgewicht	7,0218	15,1716	8,1999

und beim Versuche mit Carbonaten:

Gruppe	A 9:1	B 3:1	C 1:1	D 1:3	E 1:9
Wurzelgewicht	6,4686	8,2910	12,7495	7,2008	5,614

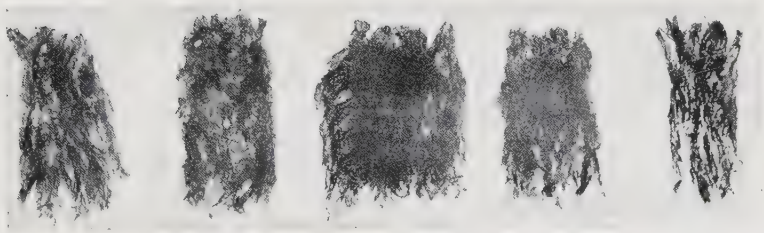
Es zeigt sich nun, dass das Gewicht um mehr als das Doppelte bei einem günstigen Kalkfaktor steigen kann, also die grösste Veränderung nach der Körnerernte im Wurzelsystem bewirkt wird.

Von je einer Parallelserie dieser zwei Versuche wurde das Wurzelsystem unter Wasser sorgfältig ausgebreitet und photographiert; Fig. 37 und 38 zeigen diese Unterschiede.



Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
CaO : MgO = 20 : 1	CaO : MgO = 1 : 1	CaO : MgO = 1 : 20

Fig. 37. Wurzelsystem von Weizen in Sandkulturen mit Ca- u. Mg-Nitrat.



Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D	Gruppe E
CaO : MgO = 9 : 1	CaO : MgO = 3 : 1	CaO : MgO = 1 : 1	CaO : MgO = 1 : 3	CaO : MgO = 1 : 9

Fig. 38. Wurzelsystem von Weizen in Sandkultur mit Ca- u. Mg-Karbonat.

b) Wirkung von Kalk und Magnesia auf die Wurzelbehaarung.

Wir sahen bisher, wie sehr sich die allgemeine Beschaffenheit des Wurzelsystems einer Pflanze nach den Kalk- und Magnesiamengen des sie umgebenden Mediums verändert. Wir wollen nun von der allgemeinen Beschaffenheit des Wurzelsystems auf die Organe übergehen, welche die Nahrungsaufnahme zunächst zu besorgen haben, nämlich auf die Wurzelhaare.

Die umfangreiche Literatur über Wurzelhaare seit Malpighi,[15]) Brugmann, de Candolle,[16]) F. Meyen,[17]) Sachs,[18]) bis zur umfangreichen Arbeit von Frank Schwarz,[19]) enthält neben vielen irrtümlichen und naiven Ansichten älterer Zeiten wie von Grew,[20]) Senebier,[21]) Treviranus, Gasparini[22]) auch verschiedenes über die Veränderung der Behaarung in verschiedenen Medien. Besonders genaue Bestimmungen der Dicke, Menge, Dichte der Haare, die nach den günstigen oder ungünstigen Lebensbedingungen (hauptsächlichst Feuchtigkeitsverhältnissen) äusserst variieren kann, hat ausser Schwarz auch Hesse[23]) veröffentlicht. Mit der Wirkung einzelner Bodensalze auf die Behaarung beschäftigten sich ebenfalls einige Forscher, so ausser Loew, Gerneck,[24]) der den günstigen Einfluss

---

[15]) M. Malpighi, opera omnia I, 1687, p. 156.

[16]) Organographie 1828, p. 117.

[17]) Neues System der Pflanzenphysiologie 1838, Bd. II, p. 6.

[18]) Handbuch der Experimentalphysiologie 1865, p. 170.

[19]) Die Wurzelhaare der Pflanzen. Untersuch. aus dem botan. Inst. Tübingen, Bd. 118.

[20]) Anatomy of plants 1682.

[21]) Physiologie végétale 1800.

[22]) Richerche sulla natura dei succiatori e la escrezione delle radici 1856 Napoli.

[23]) Hesse, Beitr. z. Morph. d. Wurzelhaare. Inaug.-Diss. Jena 1904

[24]) Gerneck, Bed. anorg. Salze f. h. Pflanzen. Göttingen 1902.

von Calciumnitrat auf die Behaarung, und Stiehr,[25]) der den giftigen Einfluss von magnesiahaltigen Lösungen auf die Wurzelhaare beobachtete. Konowalow fand, dass die Behaarung bei grösseren Calciumnitratmengen besser war, und ganz vor kurzem, als die vorliegenden Untersuchungen schon im Gange waren, berichtete Hansteen,[26]) dass bei einem bestimmten Optimalverhältnis CaO : MgO die Behaarung der Wurzel am besten sei.

Bei allen diesen Beobachtungen über die Wirkung von Kalk und Magnesia auf die Wurzelhaarbildung wurden aber nirgends eingehende Messungen der Länge, Dichte und Art der Behaarung vorgenommen. Wir haben deshalb unser in den früher beschriebenen Vegetationsversuchen gewonnenes Material hauptsächlich in dieser Richtung untersucht.

Es kamen also folgende Fragen in Betracht:

1. Ob beim absoluten Mangel oder Ueberschuss von Kalk und Magnesia die Behaarung sich verändert und wie sich die Wurzelhaare dabei gestalten.

2. Ob bei einem bestimmten Optimalverhältnis von Kalk zu Magnesia die Behaarung an Dichte, Länge usw. zunimmt.

---

[25]) Stiehr, Verhalten der Wurzelhaare gegen Lösungen. Kiel 1903.
[26]) Hansteen, Jahrb. f. wiss. Botanik XLVII, Bd. 3, p. 289.

1. Versuche mit Tradescantia.

Wie wir schon früher erwähnten, fand Loew schon 1892, dass Kalk für die Behaarung der Wurzel äusserst günstig sei und dass bei Abwesenheit dieser Base ihre Ausbildung fast völlig unterdrückt war.

Loew benützte dabei die in verschiedenen Nährlösungen gewachsenen Wurzeln von Tradescantiastecklingen. Um diese Beobachtungen weiterführen und ergänzen zu können, empfahl es sich, den Versuch auch ähnlich mit dem von Loew (Flora 1892, Bd. 3 S. 378) anzustellen. Dieses geschah mit der einzigen Aenderung, dass statt Magnesiumsulfat, Nitrat angewendet wurde und dass der Versuch mit ganz besonderen Vorsichtsmassregeln (Paraffinieren, Aushungern der Stecklinge usw. [vgl. S. 102]) stattfand.

Es wurden nun zu verschiedenen Zeiten den verschiedenen Versuchsserien, wie aus der Tabelle ersichtlich, eine Anzahl von 10—15 mm langen, möglichst gleichmässigen und unverletzten Wurzelspitzen entnommen und 24 Stunden in absoluten Alkohol gebracht. Darnach wurden Dauerpräparate in Glyzerin angefertigt. Im ganzen wurden 15 Pflanzen verwendet und von jeder ca. 10 Wurzeln präpariert.

Zu diesen, wie zu allen hier folgenden Untersuchungen wurde stets dasselbe Mikroskop (Zeiss, Modell 1906) verwendet. Das Okularmikrometer wurde durch genaue Messung bestimmt. Als Wert eines Teilstriches ergab sich 0,0155 mm bei einer Linearvergrösserung von 78 (Objektiv A mit Okular 3). Alle Messungen können also genau übereinstimmend und miteinander vergleichbar angenommen werden.

Bei den einzelnen Messungen wurde von folgenden Gesichtspunkten ausgegangen: Wegen der wechselnden Beschaffenheit der Wurzelhaare mussten diese, um ver-

gleichbare Zahlen zu erhalten, immer an entsprechenden Stellen der Wurzel beobachtet werden. Die Länge der Wurzelhaare, sowie die Dichtigkeit wurde demnach für einen bestimmten Abschnitt der Wurzel bestimmt.

Es wurde immer vom Anfang der Behaarung hinter der Wurzelspitze ausgegangen, eine Strecke von 10 Teilstrichen des Mikrometers wurde ausser Betracht gelassen, und erst in der darauffolgenden Wurzelstrecke von 10 Teilstrichen (155 μ) Länge, wurden die hier sichtbaren Haare gezählt (Dichtigkeit) und deren Länge gemessen, und in Mikra in die Tabellen eingetragen. Die Dicke jeder Wurzel wurde ebenfalls gemessen. Der Abstand zwischen der Wurzelspitze und dem Anfang der Behaarung, also der unbehaarte untere Teil der Wurzel schien bei den verschiedenen Gruppen verschieden zu sein. Nun ist dies aber wie bekannt die Streckungszone der Wurzel, die also noch nicht ausgewachsen ist; Wurzelhaare können nur aus völlig ausgewachsenen gesunden Epidermiszellen entstehen. Ein kürzerer Abstand könnte also auf rascher eintretenden Streckungsschluss und bessere Behaarung deuten. Hesse bemerkte auch, dass dieser Abstand oft variieren kann, und aus seinen Tabellen ist zu ersehen, dass ein grosser Abstand gewöhnlich mit einer minderen Behaarung in Zusammenhang steht. Deshalb sollte auch dieses geprüft und bei allen Versuchen dieser Abstand genau gemessen werden.

In Serie XI (68 Tage alt) haben bei B (Normallösung) die Wurzeln längere und dichtere Behaarung als bei C (Kalkmangel). Die Haare sind bei C äusserst spärlich, ganz verschrumpft und abgestorben, verfilzt. Bei B sind sie fast überall gesund, von normaler Beschaffenheit und gut geformt. Die Ausbildung der Haare der Gruppe A nähert sich jener von B; ob tatsächliche Unterschiede vorliegen, ist wegen der grossen Schwankungen der Einzelbestimmungen zweifelhaft. Bei der besonders sorgfältig

Mikrometrische Wurzelhaarmessungen.

Kurze Uebersichtstabelle*) der Resultate der Messungen bei Tradescantia.

Präparat Nr.	Serie	Alter	Gruppe	Mittelzahlen von	Dicke in: Teilstriche	Dicke in: Mikra	Abstand: Teilstriche	Abstand: Mikra	Abstand bei gleicher Dicke = 100 (mikra)
40	XI	32 Tage	A (Mgmangel)	6 Wurzeln	19,6	303,8	70,00	1085,0	638,135
41	„	„ „	B (normal)	7 „	17,3	268,15	35,70	553,35	340,85
42	„	„ „	C (Kalkmangel)	6 „	12,6	195,3	29.10	451,05	375,72

Präparat Nr.	Serie	Alter	Gruppe	Mittelzahlen aus	Dicke Mikra	Abstand Mikra	Mittl. Länge d. Wurzelhaare	Dichtigkeit auf 155 μ
53	XI	68 Tage	A (Mgmangel)	10 Wurzeln	182,90	320,75	449,50	11,80
54	„	„ „	B (normal)	9 „	158,33	245,00	508,40	15,00
55	„	„ „	C (Kalkmangel)	10 „	170,50	643.25	333,25	6,90
70	XI	155 Tage	A (Mgmangel)	7 Wurzeln	172,05	302,25	620,00	13,00
71	„	„ „	B (normal)	8 „	203.05	351,85	818,40	14,50
72	„	„ „	C (Kalkmangel)	7 „	269,70	806,75	265,05	6,00
57	XVIII	22 Tage	A (Mgmangel)	5 Wurzeln	333,25	1782,5	438,65	8,3
58	„	„ „	B (normal)	7 „	201,5	962,55	719,20	9,0
59	„	„ „	C (Kalkmangel)	4 „	248,0	1581,0	155,00	5,5
49	XVII	36 Tage	A (Mgmangel)	4 Wurzeln	173,60	909,85	542,50	7,2
50	„	„ „	B (normal)	7 „	142,60	364,25	596,75	11,0
51	„	„ „	C (Kalkmangel)	5 „	179,80	1224,50	325,50	6,2
52	„	„ „	D (dest. Wasser)	4 „	257,30	1058,65	465,00	14,6

*) Die 5 Einzeltabellen wurden wegen des grossen Umfanges beim Druck weggelassen.

angesetzten Serie XVII machte sich schon nach 36 Tagen der Einfluss des minimalen Gehaltes an Reservestoffen gut bemerkbar. Im allgemeinen sind hier die Wurzelhaare von Gruppe B (Normallösung) und auch D (nur Wasser) weitaus am besten entwickelt. Die Haare sind schön zylindrisch, länger, gesund und dichter als bei A und C. Bei C (Kalkmangel) ist neben der viel geringeren Behaarung und der unbehaarte Teil viel länger (statt $364{,}_{25}\,\mu$ bei B, ist dieser bei C, $1224{,}_{50}\,\mu$). Die Haare sind alle abgestorben und verfilzt, sie kleben aneinander an der Wurzel entlang und sind deshalb sehr schwer zu zählen. Die Serie XVIII, der am 14. April Proben entnommen wurden, als die Pflanzen erst 22 Tage alt waren, zeigt wegen der vorherigen Aushungerung trotz des jugendlichen Alters schon sehr deutliche Unterschiede (siehe Tabelle).

Von der Serie XI wurden ausserdem noch am 6. Mai Proben entnommen, die damals 115 Tage alt waren. Diese Messungen, die auf der Tabelle Präparat 70—72 aufgezeichnet sind, zeigen aber weniger deutliche Unterschiede wie XVIII in jüngeren Stadien, vielleicht weil sie schon das günstige Stadium für solche Messungen überschritten haben, da jetzt die Wurzeln von A und C (von fast abgestorbenen Pflanzen) selbst ganz abgestorben, verfilzt und schwer messbar sind. Die Resultate der Mittelzahlen wurden zum Schluss zur besseren Veranschaulichung für gleichen Abstand von der Spitze auf folgende schematische Zeichnung graphisch dargestellt.

Ausserdem wurde, um die Form und allgemeine Beschaffenheit der Wurzelhaare gut sichtbar zu machen, von jeder Gruppe der Serie XVIII eine Mikrophotographie angefertigt. Dasselbe Zeiss'sche Mikroskop kam zur Anwendung, mit Objekt A und Okular 3, was einer Linearvergrösserung von ca. 75 entspricht.

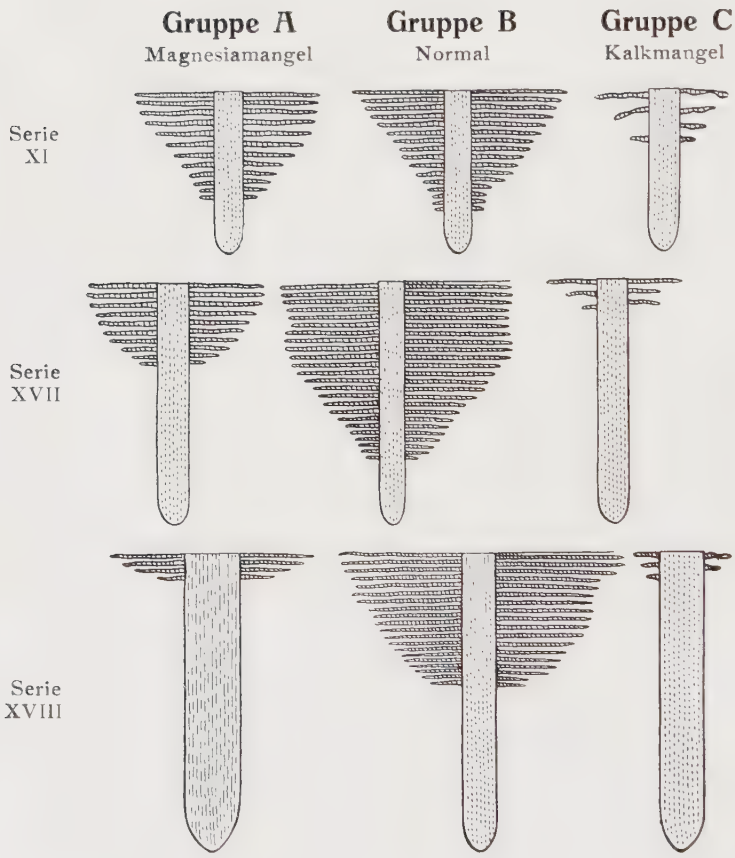


Fig. 39. Schematische Darstellung der Wurzelbehaarung bei Tradescantia unter dem Einfluss von Kalk- und Magnesiamangel.

Fig. 40. Gruppe A (Mg-mangel).

Bei dieser Gruppe ist die sonst normale Form der Haare sichtbar. Die Wurzel selbst ist ziemlich dick.

Fig. 41. Gruppe B (volle Düngung).

Dagegen ist hier die Behaarung viel länger und die gesunde, junge, kräftige Wurzel gut sichtbar.

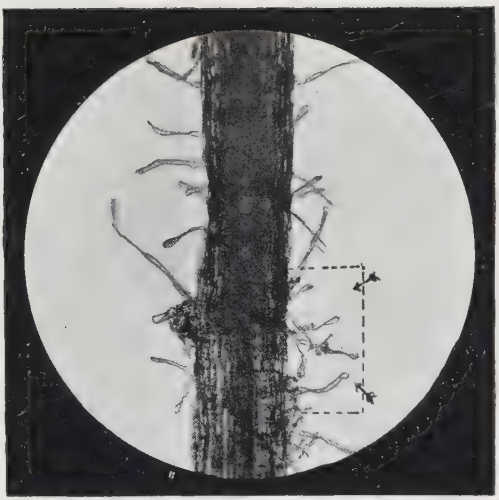


Fig. 42. Gruppe C (Kalkmangel).

Ganz anders ist aber dieses Bild. Die dicke, kaum wachsende, fast abgestorbene und verpilzte Wurzel ist äusserst spärlich mit ganz kurzen, kränkelnden und anormal geformten Wurzelhaaren besetzt. Besonders gut lassen sich diese auf dem Bilde rechts unten sehen, wo viele Wurzelhaare sich in der Mitte oder an der Spitze einschnüren und verschrumpft sind.

Fassen wir die Ergebnisse dieser Versuche zusammen, so zeigt sich:

Die Behaarung der Wurzel wird durch grossen [27]) Kalk- oder Magnesiamangel wesentlich beeinflusst. Bei Magnesiamangel beschränkt sich die Abänderung in der Hauptsache darauf, dass die Behaarung in den meisten Versuchen erst in grösserer Entfernung von der Spitze beginnt, bei Kalkmangel sind dagegen die Haare aufs äusserste reduziert, sie sind nur ganz kurz, abnorm, meistens in der Mitte eingeschnürt und stehen äusserst spärlich in einem sehr grossen Abstand von der Wurzelspitze.

Diese Ergebnisse stimmen mit den beiläufigen Angaben der meisten Forscher überein.

---

[27]) Wir wollen wegen der immer noch möglichen Reste von aufgespeicherten Reservestoffen nicht von absolutem Mangel sprechen.

2. Versuche mit Roggen in Sandkultur.

Zum Zwecke der Gewinnung von Wurzelmaterial waren u. a. schon im Jahre 1909 zwei Parallelserien zu den im ersten Teil beschriebenen Sandkulturen mit Kalk und Magnesia als Nitraten und als Carbonaten angestellt worden, die schon im grünen Zustand (vor dem Absterben der Wurzelhaare) geerntet wurden. Wie früher bemerkt, enthielten die Töpfe Kalk und Magnesia in den Verhältnissen 1:1, 1:2, 1:3, 1:9, 1:20, 3:1, 9:1 und 20:1. Da jeder Topf 13 Pflanzen trug, hatten wir im ganzen 57 Pflanzen, deren Wurzeln auf Wurzelhaare untersucht werden konnten. Die Wurzeln wurden in absolutem Alkohol fixiert. Aus dem Wurzelsystem einer jeden wurde eine grössere Anzahl Proben an verschiedenen Stellen entnommen und davon je eine Anzahl von 25—30 möglichst gleichmässiger, ganz unverletzter Wurzelspitzen in Glyzerin zu Dauerpräparaten präpariert.

Es wurden zwar bald auch hier einige Unterschiede zwischen den Gruppen bemerkt, aber da die Behaarung der Wurzel in einzelnen Fällen äusserst starken individuellen Schwankungen unterworfen war, so konnten nur Mittelzahlen aus einer äusserst grossen Anzahl von Messungen eine gewisse Sicherheit bieten. Es wurde denn auch dieses grosse Material von ca. 1800 Wurzeln in Bearbeitung genommen, jedoch wurden davon schliesslich nur 1395 Messungen gemacht, nachdem sich herausstellte, dass auch schon bei dieser Zahl befriedigende Uebereinstimmungen der Mittelzahlen für die Wurzeln der Pflanzen der Paralleltöpfe vorhanden waren.

Im übrigen wurde hier ähnlich wie bei den vorher beschriebenen Versuchen verfahren, jedoch konnten, da die Wurzelhaare durch das Wachsen im Sand äusserst verschlungen und verwirrt waren, die Längen dieser nicht genau bestimmt werden. Der unbehaarte Teil war aber sehr genau messbar.

Die Ergebnisse dieser Messungen sind auf beiliegenden Tabellen enthalten. Das Hauptresultat war: Beim Optimalverhältnis CaO : MgO = 1 : 1 ist die Dichtigkeit der Behaarung auf der Längeneinheit am grössten und der unbehaarte Teil am kleinsten, während dieser bei Kalk- und Magnesiaüberschuss grösser ist, und die Dichtigkeit der Behaarung geringer. Eine schematische Zeichnung, die nach den Angaben der Tabelle angefertigt wurde, zeigt folgendes Bild:

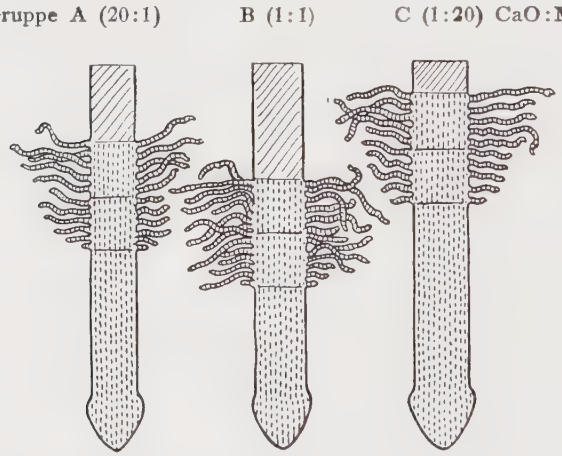


Fig. 43. Behaarung der Wurzel (an der Spitze) von Sommerroggen in in Sandkulturen mit CaO- und MgO-Nitrat. Schematische Darstellung aus den Durchschnittszahlen von 1395 Messungen bei 465 Wurzeln.

Mikrometrische Wurzelhaarmessungen.

Kurze Uebersichtstabelle*) der Resultate bei Sommerroggen in Sandkultur 1909.

Gruppe A $\frac{CaO}{MgO} = \frac{20}{1}$

Pflanze No.	1	2	3	4	5	6	7	Allgemeine Mittel in Teilstriche	Allgemeine Mittel in Mikra
Zahl der untersuchten Wurzeln	13	13	15	18	20	16	20	[115]	
Mittlere Dicke der Wurzel in Teilstriche	8,76	8,30	8,80	7,00	7,75	7,87	8,70	8,16	126,48
Abstand der Behaarung von der Wurzelspitze	43,00	35,69	31,46	38,15	40,50	35,93	36,75	37,35	578,92
Dichtigkeit der Behaarung auf 155 µ	10,60	10,61	12,71	12,23	9,81	9,81	11,65	[11,05]	

Gruppe B $\frac{CaO}{MgO} = \frac{1}{1}$

Pflanze No.	1	2	3	4	5	6	7	Allgemeine Mittel in Teilstriche	Allgemeine Mittel in Mikra
Zahl der untersuchten Wurzeln	31	30	28	25	22	27	22	[185]	
Mittlere Dicke der Wurzel in Teilstriche	8,00	7,60	7,60	11,00	9,54	9,55	9,81	9,008	139,62
Abstand der Behaarung von der Wurzelspitze	33,20	26,00	29,17	33,90	28,00	32,33	33,10	30,81	477,55
Dichtigkeit der Behaarung auf 155 µ	11,48	10,76	12,50	14,28	16,13	15,60	16,19	[13,84]	

Gruppe C $\frac{CaO}{MgO} = \frac{1}{20}$

Pflanze No.	1	2	3	4	5	6	7	Allgemeine Mittel in Teilstriche	Allgemeine Mittel in Mikra
Zahl der untersuchten Wurzeln	32	28	21	23	20	23	17	[164]	
Mittlere Dicke der Wurzel in Teilstriche	7,50	8,60	11,50	10,00	11,10	13,30	10,20	10,31	159,80
Abstand der Behaarung von der Wurzelspitze	34,30	36,07	50,50	40,90	49,65	63,30	44,90	45,66	707,73
Dichtigkeit der Behaarung auf 155 µ	10,78	10,71	12,00	11,20	10,15	10,00	11,30	[10,88]	

*) Die 21 Einzeltabellen wurden wegen des großen Umfangs beim Druck weggelassen.

3. Versuche mit Gerste in Wasserkultur mit Nitraten.

Um die bei Sandkulturen erhaltenen Resultate genauer zu kontrollieren, wurden die Veränderungen der Behaarung auch bei Wasserkulturen verfolgt, da ja, wie bekannt, bei solchen die Pflanzen auf den Einfluss der Düngung viel energischer reagieren. Wir haben ja diese Wirkung sowohl auf den oberen Teil der Pflanze wie auf die allgemeine Wurzelbeschaffenheit schon deutlich gesehen. Es bleibt also nur noch die Behaarung der Wurzel bei diesen im ersten Teil beschriebenen Versuchen zu beobachten. Es wurden hier nur zwei Serien untersucht, wovon von der einen (Serie XV) in einem etwas älteren Stadium Proben entnommen wurden, als die schädliche Wirkung der Ueberschüsse schon weit vorgeschritten war. So zeigte sich gerade wie in den Sandkulturen vom Jahre 1909 die Behaarung oberhalb der Streckungszone der Spitzenregion bei 1 : 1 viel kräftiger, bei anderen Verhältnissen, hier als bei 20 : 1 oder gar bei 1 : 20, wo die Wurzeln überhaupt ganz pathologisch dick und verfilzt waren. Diese Erscheinung stimmte ganz mit den kürzlich erschienenen Beschreibungen Hansteens, der auf S. 324 von „Verhalten von Pflanzen zu den Bodensalzen“ [28]) sagt: „Bei Lösungen mit 1 : 20 = CaO : MgO, wo die Grenze des antitoxischen Vermögens des Ca überschritten ist, sind die Wurzeln dick, kurz, steif, gelblich und nur im obersten Teil behaart.“

[28]) Jahrbuch für wiss. Botanik XLVII.

Mikrometrische Wurzelhaarmessungen.

Kurze Uebersichtstabelle*) der Resultate der Messungen bei Gerste in Wasserkulturen

(Kalk und Magnesia als Nitrat).

(Präparat Nr. 60 u. 75) Gruppe A $\frac{CaO}{MgO} = \frac{20}{1}$

Versuchs-Serie	XV		XXII		Allgemeine Mittel	
Zahl der untersuchten Wurzeln	5		12		Summe: 17	
	Teilstr.	Mikra	Teilstr.	Mikra	Teilstr.	Mikra
Mittlere Dicke der untersuchten Wurzeln	9,00	139,50	13,41	207,85	11,205	173,67
Mittlerer Abstand der Behaarung v.d.Wurzelspitze	109,40	1695,70	37,25	577,37	73,32	1136,53
Mittlere Länge d. Wurzelhaare	—	—	23,66	366,73	23,66	366.73
Dichtigkeit der Behaarung auf 155 µ	4,5		12		8,25	

(Präparat Nr. 61 u. 74) Gruppe B $\frac{CaO}{MgO} = \frac{1}{1}$

Versuchs-Serie	XV		XXII		Allgemeine Mittel	
Zahl der untersuchten Wurzeln	7		10		Summe: 17	
	Teilstr.	Mikra	Teilstr.	Mikra	Teilstr.	Mikra
Mittlere Dicke der untersuchten Wurzeln	9,8	151,90	10,70	165,85	10,25	158,87
Mittlerer Abstand der Behaarung v.d.Wurzelspitze	64,2	995,10	33,88	525,14	49,04	760,12
Mittlere Länge der Wurzelhaare	—	—	40,00	620,00	40,00	620,00
Dichtigkeit der Behaarung auf 155 µ	6,00		25,22		15,61	

(Präparat Nr. 62 u. 73) Gruppe C $\frac{CaO}{MgO} = \frac{1}{20}$

Versuchs-Serie	XV		XXII		Allgemeine Mittel	
Zahl der untersuchten Wurzeln	5		5		Summe: 10	
	Teilstr.	Mikra	Teilstr.	Mikra	Teilstr.	Mikra
Mittlere Dicke der untersuchten Wurzeln	23,2	359,6	24.70	382,85	23,95	371,22
Mittlerer Abstand der Behaarung v.d.Wurzelspitze	132,0	2046,0	82,50	1278,75	107,25	1662,37
Mittlere Länge der Wurzelhaare	—	—	8,00	124,00	8,00	124,00
Dichtigkeit der Behaarung auf 155 µ	3,8		11		7,4	

*) Die Einzeltabellen wurden wegen des grossen Umfanges weggelassen.

Um diese Messungen, die zwar in einem etwas alten Stadium der Vegetation ausgeführt waren, zu vervollständigen, wurden auch noch eine Anzahl Wurzelproben aus einer jüngeren Serie (Serie XXII) entnommen und hier beim gesunden Material genauer gemessen. Da ich bei Hansteen (daselbst S. 323) sah, dass er bei 1 : 1 CaO : MgO längere und dichtere Wurzelhaare beobachtet hat als bei CaO-Ueberschuss, aber ohne Angaben von Messungen, so wurden die Messungen auch nach dieser Richtung erstreckt. Da die Wurzelhaare besonders klar und gerade (nicht so verwickelt wie in Sandkulturen) sind, so war es sehr gut möglich, ihre mittlere Länge zu messen. Daneben wurde wie früher die Dichtigkeit auf 155 μ bestimmt. Es wurden nun, wie aus den Tabellen ersichtlich, folgende Resultate erreicht:

Gruppe A (20:1)
unbehaarte Region 577,375 μ, Dichtigkeit 12 Haare v. 366,75 μ Länge.
Gruppe B (1:1)
unbehaarte Region 525,140 μ, Dichtigkeit 25 Haare v. 620,00 μ Länge.
Gruppe C (1:20)
unbehaarte Region 1278,750 μ, Dichtigkeit 11 Haare v. 124,00 μ Länge.

Dieser Versuch ergab also ähnlich wie alle früheren und übereinstimmend mit den Angaben Hansteens, dass bei 1 : 1 = CaO : MgO die Behaarung der Wurzel am besten ist.

Es mag hier wiederholt daran erinnert werden, dass die Lösungen bei diesem Versuch überall gleiche Anzahl Moleküle Nitrat hatten und überall gleiche Konzentration bestand.

Neben diesen durch Messungen gewonnenen Zahlen wurden, um die besprochenen Unterschiede leichter anschaulich zu machen, folgende Mikrophotographien hergestellt:

Fig. 44. Gruppe A (20:1 = CaO : MgO)

Die Behaarung ist äusserst dünn und spärlich, die Haare sind mässig lang, die Dichtigkeit sehr gering.

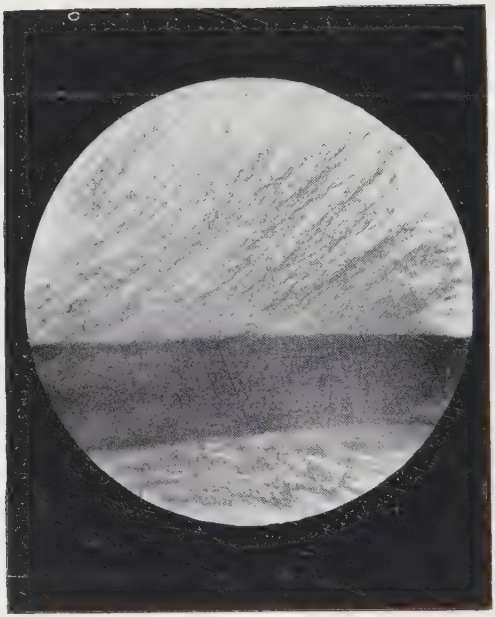


Fig. 34. Gruppe B (1:1)

Die Behaarung ist hier ausserordentlich üppig, die Haare sehr lang, sehr gleichmässig und gesund, die Dichte ganz mächtig.

Fig. 46. Gruppe C (1:20)

Hier sind im Gegenteil die Haare äusserst kurz, ganz spärlich, krank. Die Wurzel wie die Pflanze ist dem Absterben nahe.

3. Versuche mit Gerste in Wasserkulturen mit Ca u. Mg-Sulfat.

Als Abschluss dieser Untersuchungen wurde auch noch von den auf S. 78 beschriebenen Wasserkulturen mit Gerste und Ca u. Mg-Sulfat eine Anzahl Wurzeln auf die Behaarung untersucht. Hier ist vor allem der Einfluss eines Ueberschusses von Kalk und Magnesia in absoluten Mengen sichtbar, wie aus der Versuchsanstellung im ersten Teil ersehen werden kann. Die Proben wurden in jüngeren Stadien der Vegetation am 28. März 1910 entnommen und von jeder Pflanze ca. 15 Proben. Bei der ersten Untersuchung fielen gleich grosse Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen auf, sowohl in der Behaarung im allgemeinen wie in der Form und Beschaffenheit der Haare selbst: Bei der Gruppe B (1 : 1) sind die Haare viel länger, dichter und gesünder, zylindrisch und nicht geschrumpft. Bei A 10 : 1 sind sie bedeutend kürzer und weniger dicht, obwohl sie sonst normal aussehen. Dagegen bei C 1 : 10 ist der Unterschied so frappant, dass Messungen fast nicht mehr nötig sind. Die Wurzel hat fast gar keine Haare und die wenigen sind ganz kurz, fangen sehr weit von der Spitze an und haben näher betrachtet eine ganz andere Form wie die normalen. Alle sind an einer Stelle oder in der ganzen Länge ganz geschrumpft und zeigen nur noch an der Spitze ihre ursprüngliche Dicke, die Spitze nimmt oft eine keulenförmige oder klumpige Gestalt an. Nach diesen Beobachtungen wurden auch noch die gewöhnlichen Messungen ausgeführt, und die beiliegende Tabelle zeigt in Zahlen, was Loew, Hansteen und andere schon vorher approximativ angaben oder vermutet hatten.

Es scheint sonach festzustehen, dass bei einem Optimalverhältnis CaO : MgO die Behaarung der Wurzel viel d i c h t e r ist und längere Wurzelhaare, die viel näher gegen die Spitze reichen, aufweist. Bei Kalküberschuss und noch viel mehr bei Magnesiaüberschuss finden wir das Gegenteil.

Um diese Veränderungen der Wurzelhaare besser sichtbar zu machen, wurden einige charakteristische Wurzeln jeder Gruppe mikrophotographiert. Ich benützte hier auch wie bei den anderen Wurzeln dasselbe Mikroskop, diesmal aber wurde, um bessere Einsicht in die Form der Wurzelhaare zu gewinnen, eine stärkere Vergrösserung gewählt, Objektiv A und Okular 18 (Kompensation), also ca. 300 mal vergrössert. Die Platten waren orthochromatisch lichthoffrei, von J a h r, Dresden.

Auf diesem ersten Bilde von Gruppe A ist sichtbar, dass die Wurzelhaare, obwohl gesund und dick, doch viel kürzer wie bei B sind.

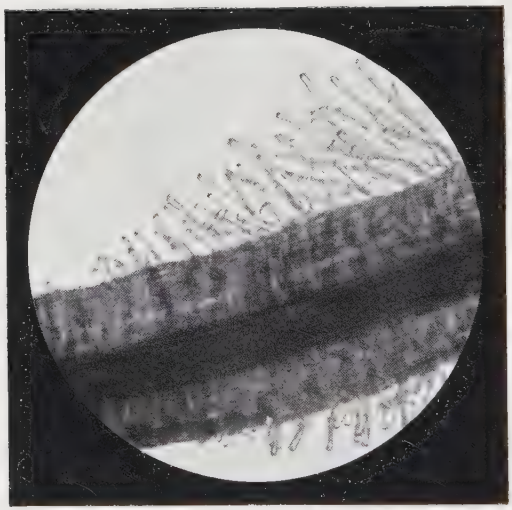


Fig. 47. **Gruppe A** (10:1 = CaO : MgO)

Mikrophotographie einer Wurzel von Gerste in Wasserkultur mit Kalk und Magnesia als Sulfat.

Auf diesem zweiten Bilde kann deutlich wahrgenommen werden, dass beim Verhältnis 1 : 1 die Behaarung viel stärker und länger ist. Alle Haare sind gesund und dick.

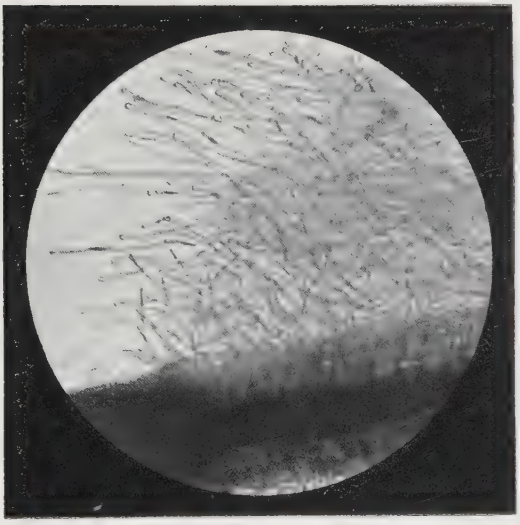


Fig. 48. **Gruppe B** (1 : 1 = CaO : MgO)

Mikrophotographie einer Wurzel von Gerste in Wasserkultur mit Kalk und Magnesia als Sulfat.

Endlich auf dem dritten Bild ist die Wirkung eines ungünstigen Kalkfaktors (1 : 10) und besonders eines starken MgO-Ueberschusses am besten sichtbar. Die Wurzelhaare sind ganz anormal klein, verschrumpft und eingeschnürt. Die Wurzel, die überall nur einige seltene kranke Wurzelhaare aufweist, ist wie die ganze Pflanze dem Vergiftungstod nahe.

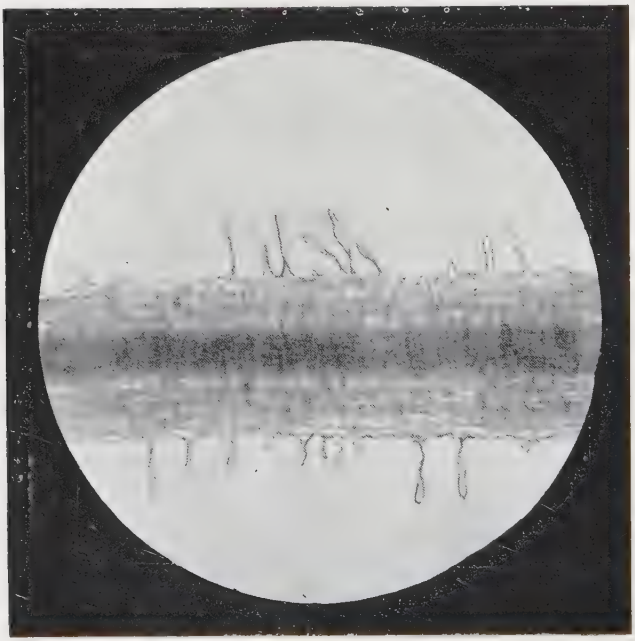


Fig. 49. **Gruppe C** (1 : 10 = CaO : MgO).

Mikrophotographie einer Wurzel von Gerste in Wasserkultur mit Kalk und Magnesia als Sulfat.

Kurz gefaßte*) Tabelle der Resultate der mikrometrischen Wurzelhaarmessungen bei Gerste in Wasserkulturen (Kalk und Magnesia als Sulfate).

Versuchsserien XX und XXI.

Gruppe A $\frac{CaO}{MgO} = \frac{10}{1}$

aus 18 Wurzeln

Dicke der untersuchten Wurzeln		Abstand der Behaarung		Länge der Wurzelhaare		Dichtigkeit auf 155 µ	Behaarungsart der Wurzel
Teilstriche	Mikra	Teilstriche	Mikra	Teilstriche	Mikra		
12,50	193,75	53,44	828,32	16,05	248,77	15	Mitteldichte, mässig lange Wurzelhaare, die etwas weit von der Spitze aufhören.

Gruppe B $\frac{CaO}{MgO} = \frac{1}{1}$

aus 11 Wurzeln

Dicke der untersuchten Wurzeln		Abstand der Behaarung		Länge der Wurzelhaare		Dichtigkeit auf 155 µ	Aussehen der Wurzel
Teilstriche	Mikra	Teilstriche	Mikra	Teilstriche	Mikra		
14,72	228,16	36,27	562,18	41,81	648,05	25	Sehr dichte, sehr lange Wurzelhaare, die nahe bis zur Spitze wachsen.

Gruppe C $\frac{CaO}{MgO} = \frac{1}{10}$

aus 19 Wurzeln

Dicke der untersuchten Wurzeln		Abstand der Behaarung		Länge der Wurzelhaare		Dichtigkeit auf 155 µ	Aussehen der Wurzel
Teilstriche	Mikra	Teilstriche	Mikra	Teilstriche	Mikra		
15,52	239,01	84,77	1313,93	7,63	118,26	8	Aeusserst spärliche, sehr kurze und difformierte Wurzelhaare, die sehr weit von der Spitze anfangen.

*) Die einzelnen Tabellen wurden einfachheitshalber beim Druck ausgelassen.

Zusammenfassung der Resultate.

1. Ein bestimmtes Verhältnis von Kalk zu Magnesia spielt bei der Ernährung der Pflanze im Gegensatz zu der in der Literatur mehrfach hervorgetretenen Anschauung verschiedener Autoren eine ganz bedeutende Rolle und kann die allgemeine Entwicklung der Pflanze begünstigen oder benachteiligen.

2. Für die Hauptgetreidearten (Weizen, Roggen, Gerste) war das Optimalverhältnis ca. 1 : 1, während die Verhältnisse 3 : 1, 10 : 1, 20 : 1, sowie die umgekehrten, Ernteerniedrigung zwischen 40—60% im Gesamtgewicht bei Sandkulturen herbeiführten.

3. Vor allem wird dabei die Körnerernte am meisten beeinflusst, während das Strohgewicht weniger vom Kalkfaktor abhängig ist. Ein Kalküberschuss wirkt besonders bei den Körnern ertragserniedrigend, während ein Magnesiaüberschuss vorwiegend auf das Stroh nachteilig wirkt.

4. Bei Wasserkulturen ist ein 20facher Magnesiaüberschuss (1 : 20) für Getreide schon nach 50 Tagen tödlich, während ein 10facher nach der gleichen Zeit jede weitere Entwicklung verhindert.

5. Die Unterschiede der Wirkungen verschiedener Kalkfaktoren zeigen sich äusserlich am Anfange wenig, dagegen am stärksten bei der Blüte und Aehrenentwicklung.

6. Die Unterschiede können durch ungünstige Lebensbedingungen, wie zu grosse Anzahl der Pflanzen pro Topf, ungenügende Grunddüngung mit der auch daraus folgenden Schwäche der Pflanzen, infektiöse oder sonstige Krankheiten der Pflanzen usw. verringert oder aufgehoben werden. Hierdurch können leicht falsche Schlüsse veranlasst werden. Je kräftiger und gesünder die Pflanzen sonst sind, desto deutlicher treten die Unterschiede bei den verschiedenen Kalkfaktoren auf.

7. Bei grösseren Magnesiaüberschüssen tritt ein Vertrocknen der Blattspitzen und der Vegetationspunkte auf. Bei Sandkulturen erholen sich die Pflanzen später wieder, während bei Wasserkulturen das Wachstum still steht oder der Tod eintritt.

8. Die Annahme Loews über das Vorhandensein des Kalkes im Zellkern wird durch unsere Versuche gestützt. Bei Kalkmangel wird auch die Entwicklung und das Wachstum sistiert.

9. Bei Magnesiamangel verschwindet das Chlorophyll aus der Zelle. Der Befund Willstätters über den Magnesiagehalt des Chlorophylls wird durch diese Versuche auf physiologischem Wege gestützt.

10. Bei grossem Kalkmangel stirbt die Pflanze von oben nach unten und bei Magnesiamangel von unten nach oben.

11. Die Wirkung von Kalk und Magnesia ist einerseits besonders deutlich hinsichtlich der Körnerbildung, anderseits ruft sie bei den Wurzeln die grössten Veränderungen hervor. Allgemeine Verzweigung, Ueppigkeit und Gewicht der Wurzelsysteme werden durch günstige Kalkfaktoren bedeutend erhöht.

12. Die Behaarung der Wurzel wird durch wechselnde Kalk- und Magnesiamengen äusserst stark beeinflusst. Bei einem günstigen Kalkfaktor ist die Behaarung viel dichter und länger.

13. Bei Kalküberschuss scheint die Behaarung kürzer und unregelmässiger zu werden. Pathologische Erscheinungen treten aber nicht auf.

14. Bei Magnesiaüberschuss ist die Behaarung ganz bedeutend vermindert und die Haare können sehr stark verkürzt und spärlich werden. Ausserdem erfahren die Haare frühzeitig pathologische Deformierungen.

Die vorliegende Arbeit wurde teils im Agrik.-Chemischen Laboratorium, teils am landw. Versuchsfeld und teils im Botanischen Institut der K. Technischen Hochschule zu München ausgeführt. Ich möchte mir gestatten, ihren Leitern, meinen hochverehrten Lehrern Herrn Geh. Hofrat Prof. Dr. Franz von Soxhlet, Herrn Geh. Hofrat Prof. Dr. Karl Kraus und Herrn Prof. Dr. Karl Giesenhagen für das stets gütige Entgegenkommen meinen verbindlichsten Dank zum Ausdruck zu bringen.

Lebenslauf.

7. Juli 1885 zu Bukarest geboren.

Juli 1905 Ablegung der Absolutorialprüfung des Real-Gymnasiums daselbst.

1905—1906 Einjährig-Freiwilliger im 2. Artillerie-Regt. zu Bukarest.

1907 Beförderung zum Leutnant d. R.

März 1908 Vorprüfung und

Juli 1909 Diplomprüfung an der K. Techn. Hochschule zu München.

1911 Promotion zum Doktor der Technischen Wissenschaften.

K. Hofbuchdruckerei Kastner & Callwey, München.

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY